

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

І. О. ТКАЧЕНКО

РИЗИКИ
У ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2017

УДК 656.025:656.08(075)
Т48

Рецензенти :

Ремарчук М. П., доктор технічних наук, професор кафедри будівельних, колійних та навантажувально-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту;

Лінник І. Е., доктор технічних наук, професор кафедри міського будівництва Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано до друку

***Вченою радою Харківського національного університету
міського господарства імені О. М. Бекетова,
протокол № 12 від 28 квітня 2017 року***

Ткаченко І. О.

Т48 Ризики у транспортних процесах : навч. посібник /
І. О. Ткаченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва
ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. –
114 с.

У посібнику розглянуто аспекти оцінки ризиків небажаних подій у транспортних процесах. Питання імовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод на перехрестях, ділянки міської дороги та на автотранспортних підприємствах. Особлива увага приділена опису математичних моделей і методів оцінки ризику виникнення аварій у транспортній галузі. Навчальний посібник «Ризики у транспортних процесах» розроблений відповідно до діючого галузевого стандарту вищої освіти України «Освітньо-професійної програми» підготовки бакалавра галузі знань 27 – Транспорт.

УДК 656.025:656.08(075)

© І. О. Ткаченко, 2017

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 РИЗИК ТА НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ.....	7
1.1 Визначення ризику.....	7
1.2 Ризики на транспорті.....	12
1.2.1 Ризики в автомобільному транспорті.....	12
1.2.2 Ризики вантажоперевезень.....	17
1.2.3 Ризики на залізничному транспорті.....	20
1.3 Ризик – імовірність – невизначеність.....	22
1.4 Контрольні питання.....	28
2 МЕТОДИ ОЦІНКИ РИЗИКУ В ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ.....	29
2.1 Вимоги нормативно-правових документів до визначення ризиків та їхніх прийнятних рівнів.....	29
2.2 Методи аналізу ризику на транспорті.....	33
2.3 Якісні та кількісні методи оцінки ризику на транспорті.....	35
2.4 Приклади застосування комплексних підходів до визначення ризику виникнення ДТП.....	40
2.4.1 Напрями моделювання ризиків ДТП.....	40
2.4.2 Застосування статистичного методу для визначення основних причин нещасних випадків із робітниками транспортних підприємств із подальшим ранжируванням отриманих значень.....	45
2.5 Контрольні питання.....	54
3 ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ РИЗИКУ.....	55
3.1 Ідентифікація небезпек.....	55
3.2 Дискретні та неперервні моделі оцінки ризику.....	57
3.3 Моделювання і прогнозування небезпечних ситуацій на дорозі.....	59

3.4 Застосування марковських процесів для визначення ризику виникнення аварії на перехресті з прикладами розв’язання завдань.....	64
3.5 Контрольні питання.....	79
4 УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ.....	80
4.1 Управління ризиком як елемент ризик-менеджменту.....	80
4.2 Технологія управління ризиком.....	83
4.3 Фактори та критерії, що враховуються у процесі моделювання стратегій управління ризиками в транспортних процесах.....	85
4.4 Експертне оцінювання стратегій управління несприятливих подій в умовах невизначеності.....	87
4.5 Оцінка ефективності управління виробничими ризиками несприятливої події на виробництві.....	94
4.6 Методика вибору оптимальної стратегії управління ризиками виробничого травматизму на підприємствах транспорту громадського користування з метою їхньої мінімізації.....	97
4.7 Контрольні питання.....	101
ВИСНОВКИ.....	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	103

ВСТУП

Останніми роками становище транспортно-дорожнього комплексу країни значно погіршилося. Унаслідок спаду обсягів перевезень стрімко скоротилися прибутки транспортних підприємств, хронічною стала криза платежів, граничного рівня досягла зношеність основних виробничих фондів, що призводить до зростання потреб у реконструкції, ремонті та технічному обслуговуванні. Незадовільно вирішуються питання технічних інновацій і технологічної модернізації, не забезпечуються мінімальні соціальні умови працівників галузі, не повною мірою використовуються потенціальні можливості транспортно-дорожнього комплексу з розвитку експорту транспортних послуг.

Перераховані фактори потребують розроблення такого механізму отримання обґрунтованих оцінок і критеріїв безпеки, який буде враховувати всю сукупність соціально-економічних чинників, зокрема ймовірність виникнення та наслідки можливих аварій.

Ризик виникнення несприятливих подій є однією з головних проблем сучасного виробництва та головним критерієм реалізації безпеки.

Заходи, спрямовані на вирішення цих проблем, на сьогодні не є достатньо ефективними через безліч проблем, пов'язаних з економічними, технічними, ресурсними можливостями підприємств загалом, а також труднощами в оцінці та прогнозуванні певних процесів в умовах невизначеності, тобто у разі неповноти або неточності інформації.

Зважаючи на статистику транспортна промисловість, зокрема підприємства транспорту громадського користування, не стали винятком. Негативний вплив на рівень розвитку зумовлюють такі фактори:

- скорочення оновлення основних фондів рухомого складу всіх різновидів транспорту. Ступінь зношеності транспортних засобів становить близько 50 % від загальної кількості рухомого складу, а на деяких підприємствах і значно більше. Протягом останніх шести років випуск трамвайних вагонів і тролейбусів на маршрути скоротився в середньому в 1,5 рази. Значно погіршилися регулярність руху та культура обслуговування пасажирів. Зменшилася в середньому на 26 % насиченість транспортної мережі трамвайними вагонами та тролейбусами;

- зниження рівня комфортності, якості пасажирських перевезень та їхньої безпеки. Наповнення салонів автобусів загального користування в піковий час досягає 6 осіб на квадратний метр, що майже вдвічі перевищує світовий рівень;

– незадовільна якість доріг. Так, порівняно з країнами ЄС Україна має один із найбільших рівнів травматизму та загибелі внаслідок дорожньо-транспортних пригод. За даними Європейської економічної комісії ООН, в 2009 р. в Україні відбулося 37049 ДТП із потерпілими, в яких загинуло 5348 осіб (0,1 у розрахунку на 1 ДТП), тоді як, наприклад, у Німеччині рівень загибелі на одне ДТП у десять разів нижче.

Посібник присвячено проблемі оцінки ступеня ризику в транспортних процесах – надання об'єктивної інформації, щодо виявлення та дослідження найнебезпечніших аварійних ситуацій на дорозі, а також впровадження стратегій управління і рекомендацій, спрямованих на запобігання і зменшення небезпек для людей, транспортних засобів та навколишнього середовища.

1 РИЗИК ТА НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ

1.1 Визначення ризику

Показники ризику починають все ширше використовуватися у сфері безпеки дорожнього руху. Особливо це стає актуальним у процесі аудиту безпеки існуючих автомобільних доріг, коли необхідно провести експрес-аналіз небезпеки ділянок доріг або дати оцінку безпеки руху на конкретних автомобільних дорогах.

На сьогодні немає однозначного розуміння сутності ризику.

Насамперед це пояснюється багатоаспектністю цього явища. Крім того, ризик – це складне явище, що має безліч незбіжних, а іноді протилежних реальних основ. Це обумовлює можливість існування великої кількості визначень поняття «ризик» з різних поглядів.

Ризик проявляється у всіх сферах діяльності людини, на всіх етапах функціонування і розвитку об'єкта, їхньої взаємодії з навколишнім середовищем і всередині себе. Транспортна галузь не є винятком.

Вивченню явища «ризик» присвятили свої роботи багато вчених, серед них Д. Хенлі, Х. Кумамото, Ст. Маршал, М. Муртонен тощо. В Україні нині з'являється все більше робіт, присвячених аналізу й оцінці ризику. Серед таких можна виділити роботи В. Государєва, Л. Маханця, К. Пуліковського, А. Водяника, Н. Касьянова, О. Кружилко тощо.

Існує безліч різних визначень ризику. Найчастіше ризик визначають як сукупність можливості збитку і його тяжкості. Проте досі немає єдиної думки у трактуванні поняття «ризик» через різноманітність його аспектів.

Нижче наведені деякі визначення поняття ризик.

Так, Оксфордський словник англійської мови визначає ризик як ймовірність небезпеки, поганих наслідків, втрат тощо» [1].

Вебстерський словник трактує поняття «ризик» як можливість втрат, пошкодження, шкоди або руйнування [2].

У сучасних підручниках зустрічається таке трактування: «Ризик – це частота, з якою може проявлятися можлива небезпека» [3].

Д. Хенлі та Х. Кумамото у своїй роботі [4] дають таке визначення ризику: «Ризик – ймовірність людських жертв і матеріальних витрат або травм і пошкоджень».

Н. В. Хохлов вважає, що ризик, насамперед, це подія або група споріднених випадкових подій, що завдають шкоди об'єкту, якому належить цей ризик [5].

Природні процеси та людська діяльність є основними причинами існування ризику. У зв'язку з цим виділяють декілька концептуальних підходів. Розглянемо деякі з них.

Концепція абсолютної безпеки (нульовий ризик). Ця концепція відома також як теорія вищої надійності, відповідно до якої, необхідні матеріальні витрати на засоби захисту, підготовку персоналу, строгий контроль за дотриманням усіх норм і правил, що гарантуватимуть безпеку.

Детерміністський підхід (теорія нормальних аварій). Ця концепція отримала розвиток у 80-і рр. XX ст. в низці країн (США, Нідерланди, Великобританія) і активно розробляється сьогодні. Відповідно до цього підходу визнається неможливість забезпечення абсолютної безпеки. Основним принципом детерміністського підходу є визначення прийнятного ризику, відповідного до якого існує практично досяжний рівень безпеки (ризик настільки низький, наскільки це можливо).

Комбінований підхід. Цей підхід визнає неминучість небезпечних пригод і аварій, але передбачає зведення їх до мінімуму на підставі ретельного аналізу небезпек у процесі проектування систем, пріоритетного фінансування заходів щодо забезпечення безпеки, ретельного дотримання законодавства в сфері безпеки, виконання правил тощо.

Концепція **ризик**у як **невизначеності** означає імовірнісний розподіл можливих (позитивних і негативних) наслідків будь якої діяльності. За наявності невизначеності та альтернатив ризик – це можливість реалізації найгірших альтернатив. У межах зазначеної концепції ризик є мірою невідповідності між різними результатами рішень, які оцінюють із погляду їхньої корисності, шкідливості, а також ефективності за критеріями відповідності обраним орієнтирам; ступенем невизначеності економічного результату в майбутньому; можливістю появи обставин, що обумовлюють невпевненість або неможливість отримання очікуваних результатів від реалізації поставленої мети.

Концепцію ризику як невизначеності використовують в теорії прийняття рішень, теорії ігор, портфельного інвестування, а ризик-менеджмент в її межах спрямований на зменшення дисперсії між очікуваними результатами і дійсними результатами.

Концепція **ризик**у як **можливості** заснована на взаємозв'язку між ризиком і прибутковістю. Невипадково тлумачний словник С. І. Ожегова [6] трактує ризик як дію навмання в надії на щасливий випадок. Чим вище ризик, тим вище потенційний дохід. Такої концепції ризику найближче поняття

шансу, а ризик-менеджмент означає використання техніки максимізації доходу за одночасним обмеженням втрат, яка використовується у процесі управління фінансовими та економічними ризиками.

Ризик – це невизначеність щодо можливих втрат на шляху до мети. Будь-яке вкладення грошей у бізнес з усвідомленою метою отримати дохід залучає до розгляду питання про співвідношення ризику і потенційного доходу. Останнє має бути досить привабливим для інвестора. Чим вище ризикованість вкладення, тим більше повинен бути обіцяний інвестору дохід.

Поняття ризику є універсальною кількісною мірою потенційної **небезпеки**, що дає змогу провести коригування вихідних цілей і стратегії вирішення завдань аналізу ризику, порівняння небезпек різного походження та механізмів дії, класифікацію та ранжирування потенційних джерел небезпеки по їхньому внеску в інтегральні показники ризику; вивчити механізм і досліджувати причинно-наслідковий зв'язок виникнення і розвитку небажаних подій, а також вплив на показники ризику різних факторів техногенного, природного та соціального походження; забезпечити спрямування зниження ризиків шляхом оптимального управління технічними та організаційно-методичними факторами впливу (зниження ймовірності, зменшення величини збитку).

Ризик – кількісна характеристика дії небезпек, які формуються певною діяльністю людини, тобто кількість несприятливих подій, смертельних випадків, кількість випадків захворювання, кількість випадків тимчасової або стійкої непрацездатності (інвалідності), спричиненою дією на людину певної небезпеки (дорожньо-транспортна пригода, аварія, дія електричного струму, шкідливої речовини, рухомих предметів і багато іншого), віднесених на певну кількість жителів (працівників) за певний період часу [7].

Фахівці у галузі безпеки дорожнього руху визначають ризик як імовірнісні можливості потрапити в дорожньо-транспортну пригоду (далі – ДТП).

Ризик – поєднання ймовірності збитків, заподіяних небезпекою та можливої величини певного збитку [8].

Зважаючи на вищезазначене, ризик – це поєднання ймовірності події і його наслідків [9].

Ризик – явище багатогранне і має такі властивості:

- є характеристикою майбутніх станів об'єкта;
- пов'язаний з випадковими подіями та явищами;
- прояв ризику – умовне подія.

На думку Валдіса Калькіса, ризик можна розглядати як двовимірну величину (рис. 1.1), що складається з можливості події та обсягу, спричинених подією збитків [11].

Також під ризиком можна розуміти міру небезпеки у процесі експлуатації технологічного об'єкта. Ризик може бути виміряний кількістю аварій (катастроф) за одиницю часу.

Індивідуальний ризик – міра небезпеки для людини, що вимірюється кількістю загиблих за одиницю часу від певного різновиду діяльності [12].

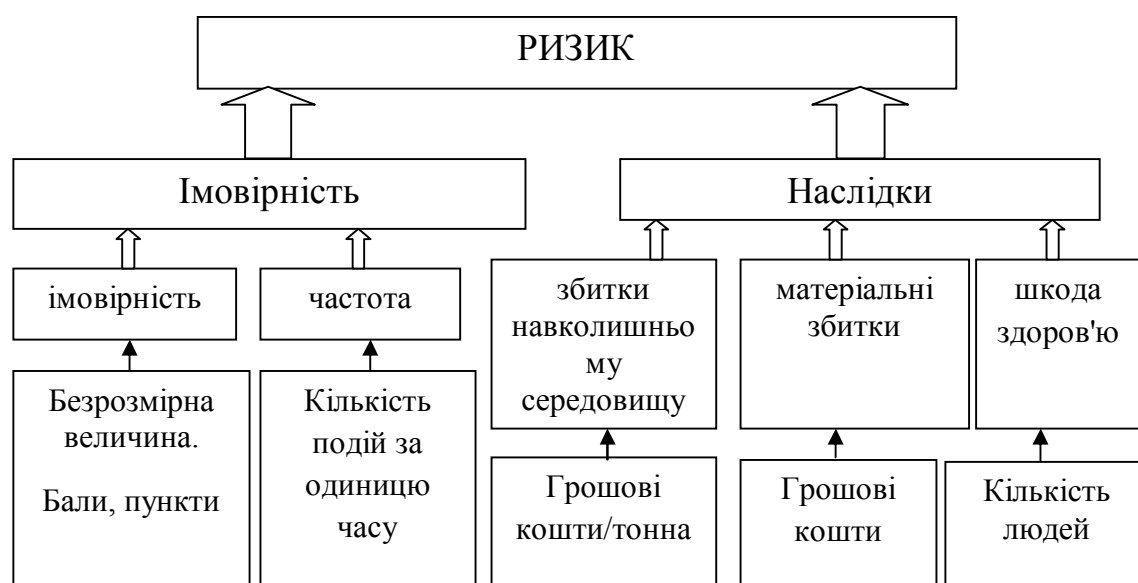


Рисунок 1.1 – Компоненти ризику

Ризик може бути визначений як частота або ймовірність виникнення події Б при настанні події А і є безрозмірною величиною, що знаходяться в межах від 0 до 1.

Прийнято вважати, що якщо частота загибелі людини за певним різновидом його діяльності протягом року становить величину: $H \leq 1 \cdot 10^{-6} \text{ рік}^{-1}$, цей рівень ризику вважається допустимим [12, 13]. Фізичний зміст величини $1 \cdot 10^{-6} \text{ рік}^{-1}$ можна пояснити так. Якщо під спостереженням протягом року $T = 1 \text{ рік}$ перебувало $N = 1\,000\,000$ ос., які займалися аналогічним і певним видом діяльності, то статистично допускається $n = 1$ один смертельний випадок за час спостереження за їхньою діяльністю, тобто:

$$H_0 = \frac{n}{N \cdot t} = \frac{1}{1000000 \cdot 1} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Наприклад, на підприємствах міського пасажирського транспорту (ПрМПТ) України у 2014 році було зайнято $N = 973\,780$ ос. протягом цього року на підприємствах даної галузі під час виконання своїх обов'язків загинуло $n = 82$ ос.

Ризик загинути від цього різновиду діяльності склав:

$$H_1 = \frac{82}{973780 \cdot 1} = 8,42 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Отже, на ПрМПТ України ризик загинути для людини вище норми в 84 рази.

Такі науковці, як В. Государєв [14], Л. Маханець [15], О. Коромислов [16], К. Пуліковський [17], Н. Слюсар [18] та С. Петров [19] попри своє зосередження на упередженні транспортного ризику все таки не пропонують аналіз системи управління ризиком із відокремленням її компонентів, що унеможливорює однозначне трактування сутності факторів і джерел транспортного ризику. Автори прикладних праць у сфері перевезень – Н. Троїцька [20] та О. Гінзбург [21] – хоч і розглядають перевезення з притаманними їм ризиками, однак не зосереджуються на системі управління транспортним ризиком та ідентифікації ризику зокрема.

Етап ідентифікації ризику, який не є можливим без з'ясування джерел та факторів ризику, є одним із початкових кроків управління ризиком та визначає якість рішень, що приймаються надалі, попри попередньо незначну увагу науковців, безсумнівно, має бути дослідженим.

Часто під поняттям ризик розуміють не тільки ймовірність, а і події та об'єкти, що призводять до втрат і збитків. Тому поняття ризик розглядається в таких аспектах:

- як ймовірність нанесення збитків;
- як певна подія чи сукупність подій;
- як певний об'єкт прояву.

Оцінюється ризик, зазвичай, математичними методами із застосуванням теорії ймовірності за такими показниками, як частота настання події та максимальний збиток, який виникає внаслідок її реалізації. Також, наявність ризику та необхідність покриття можливого збитку внаслідок його прояву, причиняють потребу в страхуванні, тому ризик як окреме явище також може бути підставою формування страхових відносин.

1.2 Ризики на транспорті

На транспорті ризик пов'язаний із основним різновидом діяльності – процесом перевезень пасажирів та вантажів, а також з виконанням вантажувальних робіт, зберіганням вантажів, здійсненням технічного обслуговування і ремонту транспортної техніки, постачанням експлуатаційними матеріалами виробництва та іншими процесами.

Ризик виникнення небажаних подій при перевезеннях насамперед залежить від технічного стану транспортного засобу. Виробничий ризик також пов'язаний із виникненням форсмажорних обставин, за яких транспортному засобу або особам, що перебувають у ньому, загрожує небезпека, або транспортний засіб зазнав шкоди чи повністю зруйнований, або воно здійснило вимушену зупинку (посадку), не досягнувши пункту свого призначення (поза автотранспортним терміналом).

Далі розглянуто основні фактори, причини та наслідки ризиків, що виникають на транспорті у різних сферах його діяльності.

1.2.1 Ризики в автомобільному транспорті

На автомобільному транспорті величина ризику найчастіше визначається ймовірністю настання випадків дорожньо-транспортних пригод (зокрема зі смертельними наслідками), яку з достатнім ступенем точності можна виявити з статистичних даних. Тобто ризик для людини може бути виміряний числом летальних випадків (травм), що відбулися за одиницю часу від даного виду діяльності.

Найефективнішим аналіз ризику виникнення небажаних подій може бути:

- на стадії проектування автомобільних доріг;
- у процесі оцінки діяльності дорожніх організацій і органів управління дорожнього господарства з безпеки дорожнього руху;
- під час аудиту для оцінки небезпеки ділянок доріг;
- у процесі розроблення заходів щодо безпеки дорожнього руху на окремих ділянках дороги та на дорозі загалом.

Але першочерговим завданням є визначення факторів ризику ДТП, які можна розділити на наступні групи [15,16]:

1. Фактори, що впливають на рівень ризику:

- економічні;
- демографічні;

- заходи в галузі міського планування;
- фактори, що впливають на тривалість часу в дорозі або на вибір способу пересування;
- співвідношення високошвидкісного руху з вразливістю користувачів доріг).

2. Фактори ризику, що впливають на ймовірність потрапляння в аварію:

- перевищення швидкості;
- фізіологічні аспекти (алкогольне або наркотичне сп'яніння, втома, поганий зір водія);
- їзда в темний час доби;
- фактори, пов'язані з транспортним засобом (несправний стан гальмівної системи, загальний технічний стан транспортного засобу, періодичність проходження технічних оглядів);
- недоліки у конструктивному вирішенні доріг;
- недостатня видимість, обумовлена станом навколишнього середовища).

3. Фактори ризику, що впливають на важкість аварії:

- ступінь витривалості людини;
- перевищення швидкісного режиму;
- невикористання ременів безпеки, захисних шоломів;
- наявність в крові алкоголю;
- недостатня інженерна забезпеченість дорожніх споруд).

4. Фактори ризику, які зумовлюють важкість посттравматичних ускладнень:

- затримки з виявленням ДТП;
- пожежа;
- витік шкідливих речовин;
- труднощі під час рятування людей у процесі евакуації;
- відсутність адекватної медичної допомоги.

Визначення значущості факторів ризику під час проведення його аналізу є дуже складним завданням.

Класичною з позиції градації значущості факторів ризику ДТП є Матриця Хеддона (табл. 1), в якій виділено три фази ДТП (до її виникнення, в процесі й після) і три групи факторів: особистісні особливості людини (учасника руху), характеристики транспортного засобу та особливості навколишнього середовища (передусім, стан доріг) [18].

Таблиця 1.1 – Матриця Хеддона

Фаза	Процес	Фактори, що залежать від		
		Людини	Транспортного засобу та обладнання	Навколишнього середовища
1	2	3	4	5
До аварії	Попередження аварії	– інформованість; – поведінкові установки; – проблеми зі здоров'ям; – поліцейський контроль	– експлуатаційна придатність дороги; – освітлення; – стан гальмівної системи; – дотримання швидкісного режиму	– дизайн та розмітка дороги; – обмеження швидкості; – споруди і пристрої для пішоходів
Під час аварії	Попередження травмування під час аварії	– використання ременів безпеки; – проблеми зі здоров'ям	– наявність та використання ременів безпеки; – інші пристосування для забезпечення безпеки; – протиаварійний дизайн автомобіля	– дорожні об'єкти, що запобігають аварії
Після аварії	Підтримка життя	– Навички надання першої допомоги; – доступність медичної допомоги	– легкий доступ до місця події; – ризик загоряння	– наявність служб порятунку; – наявність заторів на дорогах

Однак наявність людського фактору в усіх трьох фазах дає можливість дійти до висновків, що життя людини є найціннішим та найважливішим аспектом у питанні попередження ДТП, а також визначення імовірності або ризику виникнення аварії.

Щодо особливостей «людського» фактору, можна виділити такі основні характеристики людини, які впливають на безпеку руху, як:

- стан здоров'я;
- психофізіологічний статус (почуття внутрішнього комфорту/дискомфорту, наявність втоми, швидкість реакції, культура та навички водіння, зокрема дотримання швидкісного режиму руху, використання ременів безпеки, дотримання інших правил дорожнього руху, наявність алкогольного або наркотичного сп'яніння тощо).

Згідно з дослідженнями, що були проведені європейськими вченими [16–18] ризик виникнення аварії, що призводить до травм, пропорційний квадрату швидкості; ймовірність серйозної аварії пропорційна швидкості в кубі; ймовірність аварії зі смертельним результатом – швидкості в четвертій степені. Збільшення середньої швидкості на 1 км/год призводить до зростання кількості аварій із травмами на 3 % та збільшення кількості аварій із смертельним результатом на 4–5 %. Перевищення швидкості на 5 км/год понад 60 км/год дає таке саме зростання відносного ризику аварії з отриманням травм, яке можна порівняти з рівнем вмісту алкоголю в крові – 0,05 г/дл.

Взаємодія факторів у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху (табл. 1.1) дає можливість стверджувати про тісний зв'язок елементів у системі «людина – транспортний засіб – дорога – середовище» (далі – ЛТДС).

Показники ризику пов'язані з оцінкою ймовірності настання ДТП або ступенем небезпеки для людини, що використовуються для оцінки ризику ДТП у системі ЛТДС, в загальному вигляді визначають:

- 1) рівень ризиків ДТП, в залежності від кількості транспортних засобів (рівень небезпеки транспортних засобів);
- 2) рівень ризиків ДТП, що характеризують небезпеку дорожньої мережі і території.

Ці показники оцінки ризиків небезпечних подій можуть бути використані для аналізу безпеки й оцінки ступеня ризику різних територій, проведення зонування територій або дороги за ступенем небезпеки виникнення небезпечних подій [20].

Після того, як визначені оптимальні підходи до виявлення небезпек та ризиків, можна ефективно використовувати результати їхнього аналізу, а також впроваджувати заходи з впровадження об'єктивних рішень щодо прийнятного рівня ризику скоєння ДТП, встановлювати вимоги та рекомендації з управління безпекою на автомобільній дорозі або її ділянці.

Під час оцінки небезпеки ділянок дороги можуть бути використані показники ризику ДТП і загибелі людини в ДТП, які характеризують «роботу» ділянки дороги з урахуванням забезпечення пропуску транспортних засобів. Показник ризику ДТП на ділянці дороги (мережі доріг) можна представити у вигляді такі формули:

$$R_D = \frac{D}{N \cdot L \cdot m \cdot 365}, \quad (2.1)$$

де D – кількість усіх ДТП на ділянці дороги за період, що аналізується;
 N – середньорічна добова інтенсивність руху, авт. / доб.;

L – довжина ділянки дороги, що розглядається, км (1 км);

m – кількість років у розрахунковому періоді.

Показник ризику загибелі людини у ДТП на ділянці дороги можна навести у вигляді такої формули:

$$R_P = \frac{P}{N \cdot L \cdot m \cdot 365}, \quad (2.2)$$

де P – кількість загиблих у ДТП на ділянці дороги за період, що аналізується.

Одночасне використання цих двох показників ризику дає можливість оцінити небезпеку ділянки за ймовірністю скоєння ДТП і загибелі на них людей.

Відповідно до розподілу Пуассона, якщо ймовірність ДТП постійна і середнє число ДТП те саме базове час дорівнює m , то ймовірність $P(x)$ ДТП становитиме:

$$P(x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!}. \quad (2.3)$$

Залежно від отриманих значень показників аварійності умови руху на ділянках доріг можуть характеризуватися як безпечні, малонебезпечні, небезпечні й дуже небезпечні (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Ступінь небезпеки ділянок автомобільної дороги

Характеристики ділянки дороги за ступенем небезпеки	Ризик ДТП на 1 авт./км пробігу	Ризик загибелі людини в ДТП на 1 авт./км пробігу
Безпечні	$< 1,1 \cdot 10^{-7}$	$< 5,7 \cdot 10^{-7}$
Мало небезпечні	$1,1-2,8 \cdot 10^{-7}$	$5,7-8,6 \cdot 10^{-7}$
Небезпечні	$2,9-4,4 \cdot 10^{-7}$	$8,7-11,6 \cdot 10^{-7}$
Дуже небезпечні	$> 4,4 \cdot 10^{-7}$	$> 11,6 \cdot 10^{-7}$

У разі розходження результатів оцінки небезпеки ділянок з цими показниками може бути прийнята наступна процедура їхньої оцінки за рангами:

Перший ранг – обидва показники ризику характеризують ділянку дороги як дуже небезпечну.

Другий ранг – принаймні один показник ризику характеризує ділянку дороги як дуже небезпечну.

Третій ранг – обидва показники ризику характеризують ділянку дороги як небезпечну.

Четвертий ранг – принаймні один показник ризику характеризує ділянку дороги як небезпечну.

П'ятий ранг – обидва показники ризику характеризують ділянку дороги як малонебезпечну.

Шостий ранг – принаймні один показник ризику характеризує ділянку дороги як малонебезпечну.

1.2.2 Ризики вантажоперевезень

Основні ризики у процесі здійснення вантажоперевезень – це недотримання правил підготовки та пакування вантажу, технічні характеристики та справність транспортного засобу, а також спеціального обладнання вантажного відділення, відсутність застосування підприємством правил і стандартів маркування, завантаження, розміщення та кріплення вантажу у вантажному засобі тощо [22-24].

Організація перевезення як вантажів, так і пасажирів, починається з пошуку персоналу для здійснення перевезень у разі наявності власного автопарку, або за його відсутністю – з пошуку аутсорсингових партнерів.

На сьогодні дуже важливим є можливість моніторингу попередньої роботи найманих працівників або компаній з метою аналізу ефективності їхньої роботи та попередження виникнення ризиків, джерелами якого цьому разі можуть виявитися організаційна структура підприємства та надійність і професійність найманих перевізників та водіїв; особливості процедури пошуку підрядників та рівень їхньої відповідальності.

Розглянемо найрозповсюдженні ризики на основних фазах перевезення вантажу.

Фаза пакування та підготовки вантажу до завантаження. На цьому етапі важливим є вибір правильного пакування (тари) для вантажу, сортування, пошук та підтвердження наявності перевізницького обладнання (температурні установки, розміри вантажного відсіку, вантажопідйомність вантажівки тощо).

Під час організації цього етапу перевезення джерелами ризику можуть бути:

- недотримання підприємством правил підготовки та пакування вантажу;
- відсутність досвіду персоналу підприємства при сортуванні, калібруванні та пакуванні вантажу;

– відсутність досвіду підготовки та поєднання різних категорій вантажу при консолідованих перевезеннях.

Факторами транспортного ризику в цьому разі можуть бути відсутність тари для вантажу; використання невідповідного (за технічними чи санітарними стандартами) технічного обладнання для перевезення вантажу; неуважність перевізника до вимог, що ставляться до його вантажівки та обладнання.

Фаза завантаження та кріплення вантажу у вантажівку за необхідності зважування, пломбування.

На цьому етапі процесу перевезення джерелами транспортного ризику можуть бути:

– відсутність застосування підприємством правил і стандартів маркування, завантаження, розміщення та кріплення вантажу у вантажному засобі;

– відсутність необхідних технічних засобів і споряджень у підприємстві (та перевізника) для кріплення та розміщення вантажу; невідповідність оформлення товарно-транспортної документації працівниками підприємства тощо.

У цьому разі джерелом ризику може бути особисте сприйняття водієм міри ризику недобросовісного завантаження товару, відповідальність під час виконання такої функції, а також добросовісність працівників підприємства до виконання маркування, завантаження, кріплення та розміщення вантажу.

Фаза перевезення вантажів. Це один із найважливіших етапів, для якого характерні найбільш значущі ризики: настання ДТП, внаслідок якого буде зіпсовано чи втрачено вантаж, викрадення вантажу в дорозі, затримка внаслідок непередбачуваних погодних та дорожніх умов, псування вантажу через неправильне чи недбале перевезення.

Джерелами транспортного ризику у процесі перевезення можуть виступати дорожні, погодні умови;

– технічні характеристики та справність транспортного засобу, а також спеціального обладнання вантажного відділення;

– стан безпеки на дорозі за маршрутом, за яким здійснюється перевезення;

– досвід, професіоналізм та відповідальність водія під час перевезення вантажу тощо.

Факторами ризику в цьому разі будуть несприятливі погодні та небезпечні дорожні умови; несправність окремих технічних компонентів транспортного засобу чи відділення для перевезення та зберігання вантажу або ж невміння чи незначний досвід керування їх роботою з боку водія; непоінформованість водія про особливості вантажу та умови його перевезення.

Залежно від логістичної мережі, потреб та особливостей функціонування підприємства торгівлі під час перевезення вантажу може мати місце перевантаження, довантаження, тимчасове складування (збереження) вантажу.

Фаза тимчасового складування. Найчастіше за тимчасовим збереженням вантажу ризик проявляється у можливості викрадення вантажу працівниками складу чи сторонніми особами.

Джерелами транспортного ризику за таким тимчасовим складуванням вантажу є:

- відсутність системи безпеки на складі (надійних міцних механічних замків, камер спостереження, карткового доступу до окремих приміщень);
- економічне становище в регіоні, де знаходяться складські приміщення;
- невідповідність пакування вантажу та розміщення тари і контейнерів.

Факторами транспортного ризику за тимчасовим складуванням та збереженням вантажу є недоліки системи безпеки на складі (відсутність цілісності взаємозв'язку між технічним, організаційним та штатними складовими роботи складського приміщення, відсутність дієвості, наявність прогалин у роботі системи безпеки); відсутність чи неповне дотримання практики пакування та розміщення вантажу; відсутність у складських приміщеннях та на контейнерах чи тарі вантажу зовнішніх атрибутів безпеки (камери відеоспостереження, надійні механічні замки та пломби – механічні чи електронні з сигналізаційною системою).

Фаза розвантаження вантажу (його приймання отримувачем). На даному етапі здійснюється перевірка цілісності пломб отримувачем, передавання документів, звіряння кількості одиниць та ваги вантажу (за необхідністю), огляд вантажу на пошкодження та його розвантаження.

Джерелами транспортного ризику під час розвантаження вантажу є:

- недбале вивантаження вантажу, його пошкодження;
- технічна несправність ваг тощо додаткового обладнання для розвантаження;
- сумлінність роботи вантажників підприємства-отримувача.

Факторами ризику можуть бути недостатня пильність водія під час розвантаження вантажу; несправність ваг тощо додаткового обладнання для розвантаження; недобросовісні наміри персоналу, зайнятого розвантаженням вантажу. У випадку виявлення після доставки вантажу якихось порушень незалежно від того, ким вони вчинені, іншою стороною може ініціюватися складання акту, пред'являтися іншій стороні претензії.

1.2.3 Ризики на залізничному транспорті

Під ризиком на залізничному транспорті розуміється ймовірність втрат, збитків у процесі здійснення перевезень залізничними шляхами сполучення. Ризики на залізничному транспорті характеризуються складністю та різноманітністю, тому їх необхідно класифікувати за окремими ознаками [25-26]. Найважливішими ознаками класифікації ризиків на залізничному транспорті є:

- об’єкт прояву;
- джерела виникнення;
- етапи транспортування;
- різновиди перевезень;
- можливість впливати на ризики;
- час виникнення;
- розмір збитків тощо.

Характеризуємо найбільш значущі ризики за визначеними ознаками докладніше.

За об’єктами прояву ризиків. Ризики часто ототожнюють із їхніми певними носіями, тому в-першу чергу необхідно виділити ризикогенні об’єкти на залізничному транспорті. До таких об’єктів можна віднести пасажирів та працівників, рухомий склад та залізничні засоби, вантажний та пасажирський вагонні парки, залізничні контейнери, вантаж або багаж (вантажобагаж), будівлі, споруди та багато іншого.

За джерелами виникнення ризиків. На залізничному транспорті можна виділити ризики втрат і збитків, які є результатом впливу різних суб’єктів, процесів і явищ. Ці ризики можна класифікувати так:

1. Природно-кліматичні ризики, зумовлюються впливом стихійних сил, що супроводжується випаданням опадів, затопленнями, ударів блискавок тощо.

2. Антропогенні ризики, які викликані впливом людини на виникнення надзвичайних ситуацій. Ймовірність впливу дій людини на виникнення ризиків на залізничному транспорті визначається багатьма факторами, але всі їх можна розділити на дві складові нецілеспрямованої та цілеспрямованої дії. До ризиків нецілеспрямованих дій людини відносяться помилки машиністів, диспетчерів, контролерів та інших суб’єктів, які можуть бути викликані відсутністю необхідних знань, виникненням невідомих ситуацій, порушень правил безпеки руху на залізничному транспорті або виробничої дисципліни. Тобто дії людини

можуть бути помилковими, як наприклад, небезпечний маневр машиніста або несвоєчасними – халатність.

3. Статистика надзвичайних подій на залізничному транспорті та їх розслідування показує, що найрозповсюдженішими є помилки людей спільно з поганою організацією перевізного процесу, а частка технічних відмов займає незначну частину

4. Технічні ризики, що зумовлені технічним станом рухомого складу та залізничної інфраструктури, а саме: заводський брак, механічне ушкодження, несправність рухомого складу інфраструктури тощо. Ризики в процесі експлуатації пов'язані з несправністю основних елементів рухомого складу інфраструктури та недостатнім контролем за їхніми механічними властивостями.

5. Макроекономічні ризики, які формуються під впливом процесів на макроекономічному рівні та під дією ринкових факторів. До таких ризиків у першу чергу відносяться: зменшення обсягів залізничних перевезень унаслідок зміни кон'юнктури транспортного ринку; зменшення обсягу фінансових ресурсів унаслідок зростання цін на енергоносії та продукцію інших підприємств тощо.

За етапом транспортування. Дослідження ризиків з точки зору їх класифікації вимагає структуризації процесу перевезення залізничним транспортом. Перевізна діяльність на залізничному транспорті включає сукупність організаційно та технологічно пов'язаних операцій із підготовки, здійснення та завершення переміщення пасажирів, вантажів, багажу (вантажобагажу), кожна з яких супроводжується ризиками. Тому ризики можна поділити залежно від етапу транспортування пасажирів, вантажів, багажу (вантажобагажу) на ризики етапів: підготовки до переміщення; здійснення переміщення; завершення переміщення.

За різновидом перевезень. У процесі здійснення залізничних перевезень ризики поділяються на ризики, які характерні для вантажних перевезень, для пасажирських перевезень і ті, що супроводжують всі перевезення залізницями.

Ризики, які супроводжують пасажирський рухомий склад, істотно відрізняються від ризиків, що супроводжують вантажні вагони чи локомотиви. Ризики пошкодження чи знищення пасажирського рухомого складу не тільки істотно нижчі ніж вантажні, що обумовлено більш високим рівнем організації безпеки руху, а й відрізняються своєю специфікою, наприклад, одним із ризиків, який загрожує пасажирському рухомому складу – це вандалізм.

Перевезення вантажів на залізничному транспорті неминує пов'язані з різноманітними ризиками, які виникають як у процесі транспортування, так і під час виконання навантажувально-розвантажувальних робіт і тимчасовому зберіганні.

Ризики пошкодження чи руйнування вантажного рухомого складу збільшуються у разі взаємодії залізничного транспорту з іншими різновидами транспорту: у процесі здійснення розвантажувальних і навантажувальних робіт на території морського терміналу тощо.

1.3 Ризик – ймовірність – невизначеність

Згідно з ISO 31000 (2009 р.) ризик є «результатом невизначеності завдань», де «невизначеність охоплює події, які можуть відбутися і можуть не відбутися, причому невизначеність викликана неясністю чи нестачею інформації» [27].

Це визначення ризику містить негативні та позитивні впливи на цілі. Деякі визначення ризику є більш ускладненими, наприклад: «ризик є характеристикою ситуації чи дії, в якій можливі два чи більше результати, до того ж невідомо, до якого саме результату вона призведе, і принаймні один з них є небажаним [28, 29].

При спробі дати точне визначення поняттю «ризик» чітко проглядається тісний зв'язок ризику, ймовірності та невизначеності.

1. Ризик – потенційна, чисельно вимірна можливість втрати. Поняттям ризику характеризується невизначеність, пов'язана з можливістю виникнення в процесі реалізації проекту несприятливих ситуацій і наслідків.

2. Ризик – ймовірність виникнення втрат, збитків, недонадходжень планованих доходів, прибутку.

Отже, щоб найбільш точно розкрити категорію «ризик», необхідно визначити такі поняття, як «ймовірність» та «невизначеність», оскільки саме ці два фактори лежать в основі ризиків.

Ймовірність виникнення небезпеки – величина, істотно менша одиниці. Крім того, точки реалізації небезпеки розподілені в просторі й часі. Це означає, що, наприклад, ймовірність виникнення п'яти поспіль ДТП набагато нижче одного ДТП, що трапилось на дорозі. Стає зрозумілим: чим більший проміжок часу між настанням ДТП і кількість потерпілих ми візьмемо, тим чіткіше стане величина ризику, який визначиться в сукупності за цей відрізок часу.

Базовим показником безпеки може бути ймовірність $S(t)$ проведення трудових процесів без пригод протягом деякого часу t , під якою розуміється об'єктивна міра неможливості появи подій під час виконання робіт у заданих умовах.

Імовірно-статистичні методи почали широко використовувати під час розрахунку особливо відповідальних об'єктів, у процесі аналізу великих аварій. Припустимо, що $H(t)$ – ймовірність виникнення аварійної ситуації на відріжку часу $[0, t]$. Ця ймовірність має задовольняти умові:

$$H(T_*) \leq H_*, \quad (2.4)$$

де H_* – гранично допустиме (нормативне) значення ризику.

Нормативне значення ймовірності безвідмовної роботи, що використовується досить близько до одиниці (наприклад, $P_* \cong 1$).

Забезпечення безпеки машин і конструкцій – складова частина проблеми надійності. Під безпекою розуміємо надійність по відношенню до життя і здоров'я людей, стану довкілля.

Функція ризику на відріжку часу $[0, t]$ доповнює функцію безпеки $S(t)$ до одиниці:

$$H(t) = 1 - S(t). \quad (2.5)$$

Інтенсивність ризику (питома ризик) аналогічна інтенсивності відмов.

$$h(t) = -\frac{S'(t)}{S(t)} = \frac{H'(t)}{[1-H(t)]}. \quad (2.6)$$

Оскільки рівень безпеки повинен бути високим, то можна прийняти:

$$1 - H(t) = S(t) \approx 1. \quad (2.7)$$

Тоді інтенсивність ризику буде дорівнювати:

$$h(t) = H'(t) = -S'(t); \quad (2.8)$$

$$H'(t) = \frac{dH}{dt}. \quad (2.9)$$

Оскільки час t під час оцінки ризику вимірюється роками, то $h(t)$ має значення річного ризику.

Середній річний ризик виглядає так:

$$\overline{h(T)} = \frac{H(T)}{T}. \quad (2.10)$$

Наприклад, якщо $\overline{h} = \text{const} = 10^{-5}$ 1/рік, $T = 50$ років, тоді:

$$\begin{aligned} H(T) &= \overline{h(T)} \cdot T = 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 10^2 = 0,5 \cdot 10^{-3}; \\ S(T) &= 1 - H(T) = 1 - 5 \cdot 10^{-4} = 0,9995. \end{aligned}$$

Такі показники ризику широко використовують в цивільній авіації, а в останніми роками їх почали застосовувати при нормуванні безпеки обладнання атомних електростанцій.

Для парку машин функція безпеки така:

$$S_N(t) = S^N(t), \quad (2.11)$$

де N – чисельність парку машин.

У цьому випадку функція ризику виглядає так:

$$H_N(t) = 1 - [H(t)]^N \approx NH(t), \quad (2.12)$$

за умовою $NH(t) \ll 1$.

Аналогічно для питомого ризику :

$$h_N(t) \approx Nh(t) \text{ та } \overline{h_N(t)} \approx N\overline{h(t)}. \quad (2.13)$$

Інженерні розрахунки конструкцій на безпеку засновані на концепції коефіцієнтів запасу.

Розрахункова умова має вигляд:

$$S \leq \frac{F}{n}, \quad (2.14)$$

де S – параметр впливу;

F – параметр опору;

n – коефіцієнт безпеки ($n > 1$).

Невизначеність – одне з головних понять у сучасній теорії та практиці прогнозування виникнення аварій або несприятливих подій у повсякденному житті. Отже, що невизначеність – це наявність декількох імовірних результатів кожної альтернативи.

Невизначеність припускає наявність чинників, за умов яких результати дій не є детермінованими, а ступінь можливого впливу цих факторів на результати невідома; наприклад, це неповнота або неточність інформації [39].

Невизначеність – це неповне або неточне уявлення про значення різних параметрів у майбутньому, породжуваних різноманітними причинами і, насамперед, неповнотою або неточністю інформації про умови реалізації рішення, зокрема пов'язаних із ними витратах і результатах.

Ті фактори, про які відома вся зазначена необхідна інформація, називаються конкретними. Навпаки, якщо принаймі частина відомостей про факторі невідома (або відома з недостатньою імовірністю або точністю), то такий фактор називають невизначеним.

Невизначеність з'являється саме із-за наявності невизначених факторів. Виділяють декілька причин, що не дозволяють зробити всі фактори визначеними. Однією з основних причин, що породжують невизначеність нашого життя, є випадковість багатьох явищ, які через свою природу не можуть бути до кінця визначені в принципі. Випадковість можна назвати «стохастичною невизначеністю». Однак деякі не випадкові по своїй суті явища також можуть вважатися невизначеними через нестачу інформації про них. Тому серед можливих причин невизначеності також виділяють різні не випадкові фактори (так звані «фактори нестохастичної природи»).

Невизначеність, що виникає завдяки подібним факторам, називається «нестохастичною невизначеністю».

Нестохастична невизначеність може бути викликана декількома причинами:

1. Невідомо про існування фактору або про характер його впливу на стан об'єкта. Тобто мова йде про недостатній рівень (обмеженість) пізнання.

2. Неможливо виміряти значення відомого фактору з необхідною точністю (метрологічна невизначеність). Це може бути викликано відсутністю необхідних вимірювальних засобів або обмеженими можливостями конкретного спостерігача, що проводить вимірювання.

3. Фактор визначається поведінкою інших об'єктів або елементів системи, що мають свої цілі і волю (поведінкова невизначеність).

4. Умови невизначеності обумовлені тим, що системи в процесі свого функціонування відчувають залежність від цілої низки причин, які можна систематизувати у вигляді поданої нижче схеми (рис. 2).

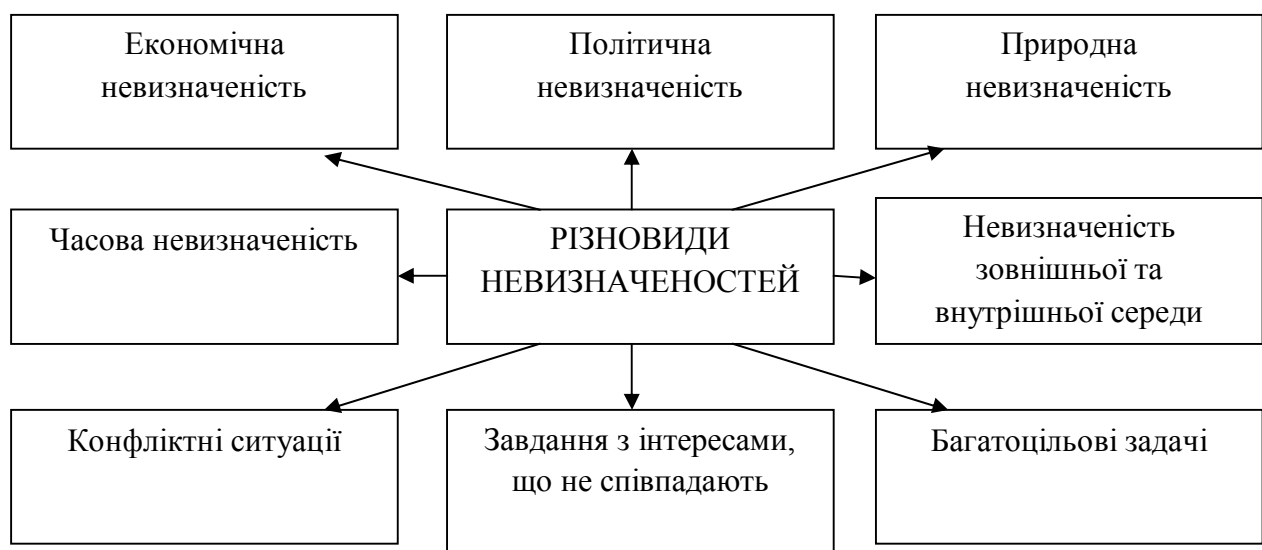


Рисунок 2 – Залежність видів невизначеностей від різних факторів

Економічні невизначеності обумовлені несприятливими змінами в економіці (невизначеність ринкового попиту і пропозиції, асиметрична інформація, слабка передбачуваність ринкових цін тощо).

Політична невизначеність обумовлена зміною політичної обстановки, що впливає на підприємницьку діяльність.

Соціальна невизначеність обумовлена змінами демографічної ситуації переваг і моральних установок населення, що впливають на різні види діяльності.

Ці різновиди невизначеності пов'язані між собою та часто на практиці їх важко розчленувати.

Виділяється природна невизначеність, яка описується сукупністю факторів, серед яких можуть бути кліматичні погодні умови, різноманітні перешкоди (атмосферні, електромагнітні і тощо).

Невизначеність зовнішнього середовища. У процесі економічного аналізу підприємницької діяльності вводиться поняття зовнішнього і внутрішнього середовища бізнесу. Внутрішнє середовище включає фактори зумовлені діяльністю самого підприємця і його контактами. Зовнішнє середовище представлена факторами, які безпосередньо не пов'язані з діяльністю підприємця і мають широке соціальне, демографічне, політичне та інше значення.

Умови невизначеності, які наявні за будь-яких різновидах, зокрема і на транспорті, є предметом дослідження та об'єктом постійного спостереження фахівців найрізноманітніших профілів і галузей.

Такий комплексний підхід до вивчення даного явища (явища невизначеності) пов'язаний із тим, що суб'єкти у процесі свого функціонування, наприклад у логістиці, відчувають залежність від цілого ряду факторів, які можна підрозділити на зовнішні та внутрішні:

- зовнішні фактори – законодавство, реакція ринку на продукцію, яка постачається, дії конкурентів;
- внутрішні – компетентність персоналу фірми, помилковість визначення характеристик проекту і тощо

Інший підхід до класифікації невизначеностей наводиться у книзі Дж. фон Неймана і О. Моргенштерна «Теорія ігор і економічна поведінка. 1970» [39]:

1. Комбінаторна кількість варіантів стратегій управління. Переглянути їх у відведений час неможливо навіть за наявності швидкодіючих ЕОМ (повний

перебір варіантів неможливий). Прикладом великої кількості варіантів стратегій можуть бути шахи.

2. Випадкові фактори подій, що відбуваються, є результат дії випадкових сил: розсіяння влучень у мішені під час стрільби; випадкові потоки вимог в обслуговуючу систему; випадкові потоки грошових коштів у банківську систему або на підприємство і тощо.

3. Стратегічна невизначеність (ігрова невизначеність по суті) через невідому поведінку супротивника (партнера – іншого учасника гри, зокрема гри з природою).

Ще один підхід до класифікації невизначеності використовується у процесі проектування та планування робіт:

1. Людська невизначеність пов'язана з неможливістю точного передбачення поведінки людей у процесі роботи. Люди відрізняються один від одного рівнем освіти, досвідом, творчими здібностями, інтересами. Індивідуальні реакції змінюються день у день, залежно від самопочуття, настрою, контактів з іншими людьми і тощо.

2. Технічна невизначеність значно менше порівняючи з людською, проте на неї потрібно звертати увагу. Технічна невизначеність пов'язана з надійністю обладнання, передбачуваністю виробничих процесів, складністю технології, рівнем автоматизації, обсягом виробництва, темпами оновлення і тощо.

3. Соціальна невизначеність визначається прагненням людей утворювати соціальні зв'язки та допомагати один одному. Ведуть себе у відповідності з взаємно прийнятими зобов'язаннями, службовими відносинами, ролями, стимулами, конфліктами, традиціями і тощо. Структура таких взаємин не визначена.

Важлива особливість прийняття рішень полягає в необхідності враховувати вплив невизначених факторів та розглядати усі ймовірні наслідки альтернатив, що висувуються для вибору. Тому дуже важливим є розроблення моделей прийняття рішень в умовах невизначеності. Ці моделі забезпечують структуровану обробку інформації щодо наявної проблеми.

Контрольні питання

1. Чим пояснюється багатоаспектність ризику?
2. Чим обумовлюється велика кількість визначень терміну «ризик»?
3. Поясніть концепцію абсолютної безпеки.
4. Які існують концептуальні підходи у визначенні поняття ризик?
5. З яких компонентів складається ризик?
6. Які існують основні ризики на автомобільному транспорті, зокрема при здійсненні вантажних перевезень?
7. В чому полягає сутність невизначеності?
8. Що таке нестахостична невизначеність?
9. Як пов'язаний ризик з імовірністю та невизначеністю?
10. Які існують різновиди невизначеностей залежно від різних факторів?

2 МЕТОДИ ОЦІНКИ РИЗИКУ В ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ

2.1 Вимоги нормативно-правових документів до визначення ризиків та їхніх прийнятних рівнів

Нормування ризиків є спеціально організованою нормативно-правовою діяльністю з розроблення і затвердження норм техногенної та природної безпеки, правил і регламентів господарської діяльності, зокрема і в транспортній галузі, які визначаються на підставі значень ризику в межах прийнятних значень. Нормування є тим засобом, який встановлює у державі межі допустимості техногенної діяльності та межі захисту від небезпечних природних явищ. Нормативи ризиків є критеріальною основою для механізмів регулювання техногенної та природної безпеки.

Запровадження в Україні нормування ризиків надзвичайних ситуацій техногенного і природного походженням потребує вдосконалення державної системи нормування, яка має забезпечити [47–52]:

- єдність методологічних підходів до оцінювання ризиків джерел безпеки різного походження і різного виду, які існують на території України, та тих джерел безпеки поза її межами, що можуть мати транскордонний вплив;
- уніфікацію методів нормування;
- урахування вагомості всіх наслідків соціально-економічного, природно-ресурсного, екологічного та іншого характеру, які можуть бути спричинені очікуваними надзвичайними ситуаціями природного і техногенного походження;
- урахування особливостей різновидів виробничої діяльності, техногенного навантаження територій, природно-кліматичних особливостей, цінності окремих територій;
- галузеву і територіальну диференціацію нормативів ризиків;
- урахування всіх чинників, що впливають на величину ризику надзвичайних ситуацій, пов'язаних із розміщенням, будівництвом та експлуатацією небезпечних техногенних об'єктів, створенням нової техніки, технологій і матеріалів;
- періодичне коригування нормативів ризиків.

Умовою практичної реалізації нормативів ризиків надзвичайних ситуацій у транспортній галузі є визначення і забезпечення необхідних показників надійності тих технічних елементів і технологій, які можуть призводити до

розвитку аварій, а також показників надійності систем протиаварійного захисту та захисних споруд.

Нормативна база ризиків надзвичайних ситуацій техногенного і природного походження базується на двох основних нормативних рівнях ризиків: мінімальному і граничнодопустимому. Прийнятний рівень ризику – це ризик, менший або такий, що дорівнює граничнодопустимому, мінімальний – рівень ризику, нижче від якого подальше зменшення ризику є економічно недоцільним.

Питання про рівень допустимого або прийнятного ризику – найважливіше у прийнятті рішень. Вибір значення прийнятного рівня індивідуального ризику здебільшого залежить від економічного стану країни.

Ризик, значення якого менше або дорівнює мінімальному, вважається абсолютно прийнятним. Тобто будь-яка діяльність із таким низьким значенням ризику є прийнятною і не потребує жодних додаткових зусиль для його зниження, а отже, може не контролюватися відповідними наглядовими органами.

Ризик, значення якого більше за граничнодопустиме, вважають абсолютно неприйнятним. Для кожної галузі економіки, небезпечної виробничої діяльності, території, типу техногенного чи природного об'єкта визначають свої нормативи мінімального і граничнодопустимого рівнів ризиків, які мають знаходитись у межах аналогічних загальнонаціональних значень.

Масштаби використання концепції прийнятного ризику в законодавстві інших країн більш обмежені, але у всіх промислово розвинених країнах уже розуміють необхідність застосування такого підходу як одного з найефективніших механізмів управління промисловою безпекою.

Перехід розвинених країн до концепції прийнятного ризику – це якісно новий крок у промисловій безпеці, заснований на принципі «передбачити й попередити».

Існує низка міжнародних стандартів, що спрямовані на надання допомоги підприємствам у розробленні підходів щодо управління ризиками.

Пріоритетним напрямком цих стандартів є застосування ризик-менеджменту у всій структурі організації на всіх етапах її розвитку.

Ризик - менеджмент – система понять і виконання управлінських рішень, спрямованих на зменшення впливу наслідків реалізації ризиків на діяльність організації [53–61].

Серед них можна виділити:

- ISO Guide 73:2009 Risk management – Vocabulary – базовий словник термінів ризик-менеджменту (визначаються поняття ризику та його особливостей, розглядаються такі поняття, як менеджмент ризиків, політика і план менеджменту тощо);
- ISO 31000: 2009 Risk management – Principles and guidelines – цей документ описує міжнародну практику застосування ризик-менеджменту та наводить перелік докладно описаних методів із посиланнями на інші міжнародні стандарти;
- IES ISO 31010: 2009 Risk management – Risk assessment techniques – є керівництвом до вибору методів оцінки ризику залежно від етапу розвитку проекту або від типу аналізу.

Застосування ризик-менеджменту є актуальним і перспективним напрямом у розвитку підприємств, яке дасть змогу стабілізувати діяльність усередині підприємства.

У нашій країні такий підхід потребує перегляду багатьох нормативних документів із безпеки і формування загальнодержавної стратегії в цій сфері. Нормування ризиків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру спрямовується на вдосконалення відносин між суб'єктами господарювання та органами державного нагляду і контролю, функціональне призначення яких – забезпечення цивільного захисту населення і територій.

Основними нормативно – правовими документами України, що стосуються визначення ризиків та їх прийнятних рівнів, є:

- Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки»;
- Постанова Кабінету Міністрів України «Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки»;
- Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки.

У цих документах визначається порядок проведення аналізу небезпеки та оцінки ризику об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН), встановлюються методичні принципи, терміни і визначення поняття ризик, визначаються критерії прийнятних ризиків та їх рівні.

Так Закон визначає правові, економічні, соціальні та організаційні основи діяльності, пов'язаної з ОПН. Даний документ спрямований на захист життя і здоров'я людей від шкідливого впливу аварій на ОПН шляхом запобігання їх виникненню, обмеження (локалізації) розвитку і ліквідації наслідків.

В Постанові дається визначення порогових мас небезпечних речовин для ідентифікації ОПН, а також затверджується Порядок ідентифікації та обліку даних об'єктів та Порядок декларування безпеки ОПН.

Документом, який визначає порядок проведення аналізу небезпек та оцінки ризиків ОПН, є Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. У даній Методиці на законодавчому рівні встановлюються методичні принципи, терміни і поняття аналізу ризику, а також визначаються критерії прийнятних ризиків. Проте вона має ряд недоліків:

- не описано один метод оцінки ризику від декількох джерел небезпеки;
- не враховується людський фактор;
- достатньо трудомістка.

Використання рекомендацій нормативно-правових документів та різноманітних міжнародних стандартів, розроблення нових організаційно-методичних засад дає можливість для розробки більш досконалих підходів, моделей, методик аналізу та оцінки ризику небажаних подій (далі – НСоб) на виробництві.

Серед багатьох нормативних документів в окрему групу можна виділити терміни, що визначають показники виникнення ризику надзвичайних подій, зокрема і дорожньо-транспортних пригод, а також обумовлюють кількісну характеристику ризику, а саме:

1. Ризикоутворююча причина (далі – РП) – об'єктивне або суб'єктивне явище або сукупність явищ, безпосередньо пов'язаних з діяльністю людини, які під впливом негативних факторів породжують несприятливі події та аварії.

2. Надзвичайна подія (далі –НП) – результат дії ризикоутворюючої причини або сукупності таких причин під впливом негативних факторів, що призводять до втрати працездатності (повної або часткової) або загибелі людини.

3. Ризик – імовірність виникнення надзвичайної події, що сталася або може статися в умовах невизначеності, в результаті чого можливе виникнення певної шкоди.

4. Шкода – кількісна характеристика ризику, що відображає втрату працездатності (повну або часткову) або випадки загибелі людини при виникненні надзвичайної події і яка вимірюється її кількістю, зокрема зі смертельними наслідками за певний період часу.

Згідно з цими визначеннями, можна зробити висновок про те, що НП є наслідком дії ризикоутворюючих причин під впливом сукупності негативних чинників.

Ймовірністю настання НП є ризик, який кількісно характеризується втратою працездатності або випадком загибелі людини, вираженої кількістю НСоб за одиницю часу, тобто шкодою.

Логічний взаємозв'язок наведених вище термінів представлений на рисунку 2.1.

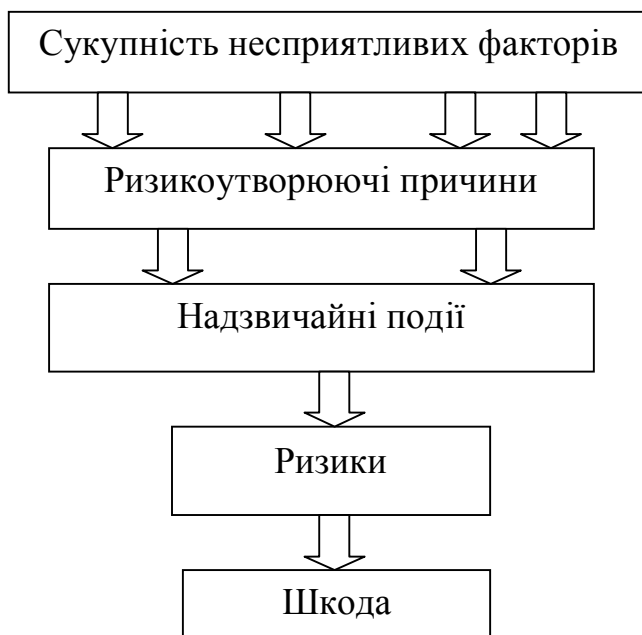


Рисунок 2.1– Взаємозв'язок понять, які обумовлюють кількісну характеристику ризику

Таким чином, розглянутий комплекс понять, дає можливість для більш точнішого аналізу (розкладання цілого на складові компоненти, дослідження цілого, його елементів і їхніх взаємозв'язків) НСоб у транспортній галузі, а також точніше та повніше визначити характеристики, що обумовлюють виникнення цих подій, що є основою для методологічного забезпечення та процедури оцінювання ризику.

2.2 Методи аналізу ризику на транспорті

Сьогодні існує безліч підходів до нормування ризику в галузі забезпечення екологічної та промислової безпеки, зокрема і безпеки в транспортній галузі. Але серед багатьох можна виділити такі (рис. 2.2):

- детермінований;

- імовірнісний;
- комбінований;
- в умовах невизначеності нестохастичної природи.

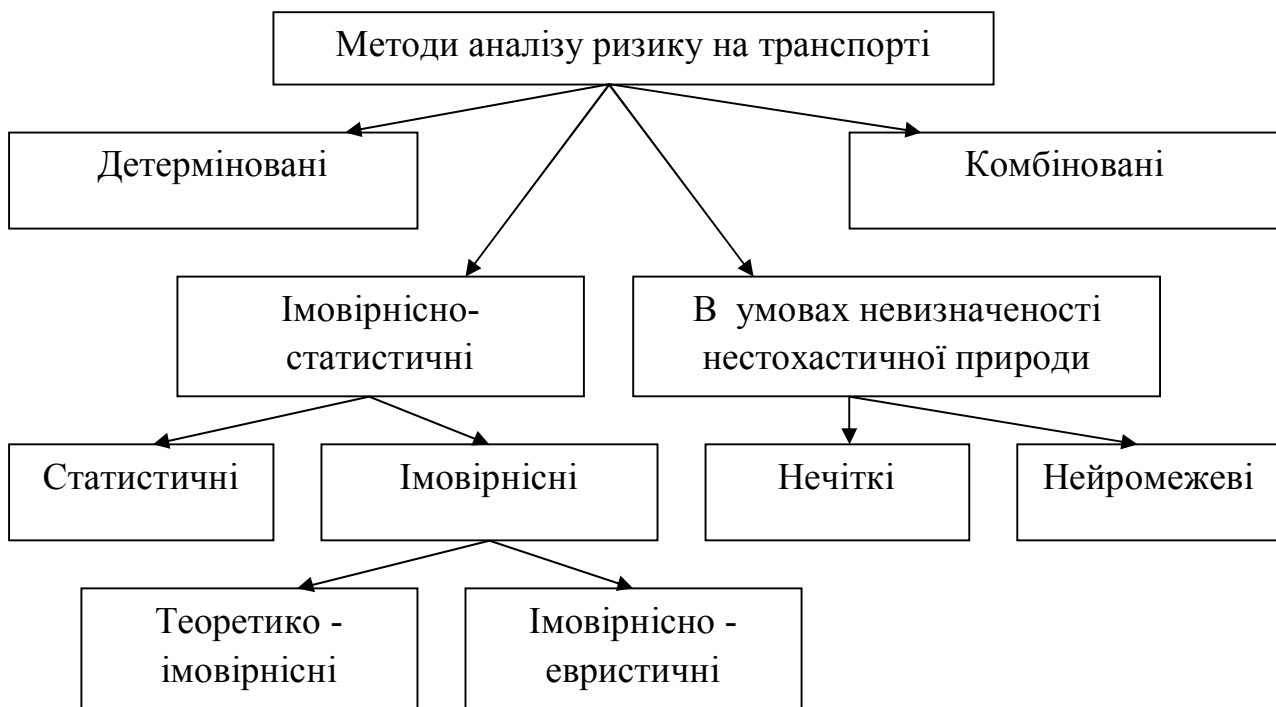


Рисунок 2.2 – Методи аналізу ризику

Детермінований підхід базується на певній кількісній диференціації та розподілі надзвичайних ситуацій, кількості дорожньо-транспортних пригод за ступенем небезпеки на категорії, класи і тощо, які визначаються за параметром, що характеризує небезпечні параметри процесів, кількість уражених та постраждалих, а також руйнівні наслідки надзвичайних ситуацій. При цьому призначаються конкретні кількісні межі цих категорій, класів і т. п.

Детерміновані методи передбачають аналіз етапів розвитку ДТП, починаючи від вихідної події через послідовність передбачуваних умов до сталого кінцевого результату. Недоліками при використанні цих методів є:

- потенційна можливість упустити ланцюжки розвитку ДТП, що не реалізуються, але є важливими;
- складність побудови достатньо адекватних математичних моделей;
- необхідність проведення складних і дорогих експериментальних досліджень.

Імовірнісний підхід є більш прогресивним і здійсненим, оскільки він дає можливість знаходження оптимального варіанта проектного рішення. Він

базується на кількісній залежності між небезпечними факторами дорожнього середовища, матеріальною шкодою та ймовірністю реалізації небезпечних факторів з урахуванням захисних заходів. За допомогою імовірнісних методів можна знаходити оптимальні технічні рішення для конкретних об'єктів. Однак цей підхід більш складний і вимагає численних додаткових відомостей (наприклад, статистичних даних про кількість дорожньо-транспортних пригод для однотипних автомобілів, відомостей про надійність обладнання і систем, статистичні дані про водіїв та їхній психологічний стан). Головним ускладненням у використанні цього підходу є необхідність урахування людського фактору і надійності системи «людина – транспортний засіб – дорога – середовище» (далі – ЛТДС).

Імовірнісно-статистичні методи аналізу ризику припускають як оцінку імовірності виникнення ДТП, так і розрахунок відносної ймовірності того або іншого шляху розвитку процесу. При цьому аналізуються розгалужені ланцюжки умов і факторів, вибирається відповідний математичний апарат і оцінюється повна імовірність ДТП. Розрахункові математичні моделі при цьому можна істотно спростити в порівнянні з детермінованими методами. Основні обмеження методу пов'язані з недостатньою статистикою по різних факторах ДТП.

Імовірнісний підхід заснований на концепції допустимого ризику з розрахунком імовірності досягнення певного рівня безпеки і передбачає недопущення впливу на людей небезпечних факторів дорожнього середовища з ймовірністю, що перевищує нормативну.

Методи аналізу ризиків ДТП в умовах невизначеностей нестатистичної природи призначені для опису невизначеності джерела ризику, пов'язаного з відсутністю або неповнотою інформації про процеси виникнення і розвитку аварії. Усі перераховані вище методи аналізу ризиків ДТП класифікують по характеру початкової і результуючої інформації на якісні і кількісні.

2.3 Якісні та кількісні методи оцінки ризику на транспорті

Підходи, засновані на аналізі ризиків широко використовуються в економічних розрахунках, під час проектування інвестиційної діяльності, в сфері страхування [69]. Якщо спробувати систематизувати велику кількість методів і моделей аналізу ризиків, що можуть використовуватися для оцінки втрат від ДТП, усі методи можна поділити на якісні та кількісні.

Детерміновані

Якісні:

1. «Що буде, якщо...?» (*What – If?*), перевірочний лист (*Check – List*) або їх комбінація. Ці два методи є найбільш простими, дешевими і ефективними при дослідженні добре вивчених об'єктів з відомою технологією або об'єктів з незначним ризиком великої аварії.

2. Попередній аналіз небезпеки (*Process Hazard and Analysis*) (*PHA*) – це індуктивний метод аналізу, метою якого є ідентифікація небезпек, які можуть завдати шкоди діяльності, об'єкту або системі «людина – транспортний засіб – дорога – середовище» (ЛТДС).

3. «Аналіз вигляду і наслідків події» (*Failure Mode and Effects Analysis*) (*FMEA*) – особливістю є розгляд кожного апарату (блоку, виробу, устаткування) або його частини ще до моменту несправності (вид або причина відмови) і яким був б вплив відмови на систему.

4. Аналіз помилкових дій (*Action Errors Analysis*) (*AEA*) – моделювання умов і обставин скоєння помилкових дій, тобто відтворення всієї послідовності та умов діяльності або, при неможливості цього, відтворення операціональної структури або власне психологічного змісту досліджуваної версії дій.

5. Концептуальний аналіз ризику (*Concept Hazard Analysis*) (*CHA*).

6. Концептуальний огляд безпеки (*Concept Safety Review*) (*CSR*).

7. Аналіз людських помилок (*Human Hazard and Operability*) (*Human HAZOP*) – структурований і систематичний огляд планованого або існуючого процесу або діяльності з метою виявлення й оцінювання проблем, які можуть становити небезпеку для персоналу або обладнання, або перешкоджати ефективній роботі.

8. Аналіз впливу людського чинника (*Human Reliability Analysis*) (*HRA*) – залежність працездатності людини від багатьох факторів, таких як вік, душевний стан, фізичне здоров'я, стосунки, емоції, схильність до певних загальних помилок

9. Логічний аналіз.

Кількісні:

1. Ранжирування (експертні оцінки).

2. Методика визначення і ранжирування ризику (*Hazard Identification and Ranking Analysis – HIRA*) – виявлення і аналіз небезпек, їхніх масштабів, наслідків та ідентифікація небезпек, оцінка ризиків і контроль для ефективного управління небезпеками.

3. Аналіз вигляду, наслідків і критичності події (*Failure Mode, Effects and Critical Analysis*) (*FMECA*) – застосовується для аналізу проектів складних технічних систем або при модифікації небезпечних виробництв.

4. Кількісне визначення впливу людського чинника (*Human Reliability Quantification*) (*HRQ*) – сукупність засобів аналізу частот у сфері впливу людини на показники роботи системи, за допомогою яких визначається вплив помилок людини на надійність транспортних засобів.

5. Методика аналізу ефекту доміно (*Methodology domino effects analysis*) – каскадний розвиток дорожньо-транспортних пригод.

6. Методика визначення та оцінки потенційного ризику (*Methods potential risk determination and evaluation*) – процес кількісної оцінки рівня ризику, пов'язаного з конкретною небезпекою.

Імовірісно-статистичні

Якісні:

1. Карти потоків.
2. Причини послідовності нещасних випадків (*Accident Sequences Precursor*) (*ASP*) – визначення події-попередника аварійної послідовності ДТП.
3. Експертне оцінювання.
4. Метод аналогій для визначення сценаріїв розвитку аварій.

Кількісні:

1. Контрольні карти.
2. Аналіз дерева подій (*Event Tree Analysis*) (*ETA*) – сукупність засобів ідентифікації небезпек і частот, в яких застосовується індуктивний підхід з метою переведення ініціюючих подій у можливі виходи (алгоритм побудови послідовності подій, що виходять з основного).
3. Аналіз дерев відмов (*Fault Tree Analysis*) (*FTA*) – сукупність засобів ідентифікації небезпек та аналізу частоти НП, за допомогою яких визначаються шляхи їхньої реалізації.
4. Оцінка ризику мінімальних шляхів від ініціюючого до основної події (*Short Cut Risk Assessment*) (*SCRA*).
5. Дерево рішень.
6. Бальні оцінки.
7. Суб'єктивні оцінки вірогідності небезпечних наполягань.
8. Узгодження групових рішень на підставі коефіцієнтів конкордації, побудова узагальнених ранжувань.
9. Методи попарних порівнянь.

В умовах невизначеності нестатичної природи

Якісні:

1. Метод аналізу небезпеки і працездатності (*Hazard and Operability Study*) (*HAZOP*) – проводиться дослідження саме впливу технологічних параметрів (температура, тиск тощо), а також відхилення від регламентованих режимів із погляду виникнення небезпеки.
2. Методи, засновані на розпізнаванні образів (нечітка логіка).

Кількісні:

1. Методи прогнозування порушень, відмов (нейронні мережі прямого розповсюдження, рекурентні), оперативного управління безпекою дорожнього руху.
2. Методи, засновані на розпізнаванні образів для ідентифікації передаварійних ситуацій (нейронні мережі адаптивного резонансу).

Комбіновані

Якісні:

1. Логіко-графічні методи аналізу ризику.
2. Аналіз максимальної можливості виникнення нещасного випадку (*Maximum Credible Accident Analysis*) (*MCAA*)– оцінка нещасних випадків із максимальним потенційним збитком, який досі вважається ймовірним.
3. Блок-схема надійності (*Reliability Block Diagram*) (*RBD*) – оцінка надійності системи й аналіз наявності великих і складних систем, використовуючи блок-схеми, щоб показати мережеві відносини.
4. Аналіз безпеки (*Safety Analysis*) (*SA*) – процес вивчення необхідності та ефективності дій, процедур або приладів, призначених для зниження ризику виникнення або травми, втрати та небезпеку для людей.
5. Аналіз надійності структури (*Structural Reliability Analysis*) (*SRA*)– визначення ймовірностей відмови.
6. Таблиці полягань і аварійних поєднань.

Кількісні:

1. Повний аналіз ризику – методика оптимального аналізу ризику (*Optimum Risk Analysis*) (*ORA*)– комплексний підхід до вибору оптимального методу аналізу ризику.
2. Метод організованого систематичного аналізу ризику (*Method Organised Systematic Analysis Risk*) (*MOSAR*).
3. Кількісна оцінка ризику (*Quantitative Risk Assessment*).

Проведення кількісного аналізу ризиків ДТП вимагає високої кваліфікації виконавців, великого об'єму інформації по аварійності, обліку особливостей дорожнього руху, дорожніх та метеоумов, часу перебування людей за кермом і інших чинників. Складні розрахунки часто дають значення ризику, точність якого є невеликою. Для небезпечних об'єктів транспортної інфраструктури точність розрахунків індивідуального ризику, навіть у разі наявності всієї необхідної інформації, зазвичай не вище за один порядок [70].

Найбільший об'єм рекомендацій по забезпеченню безпеки дорожнього руху можна отримати із застосуванням якісних методів аналізу ризиків, що використовують менший об'єм інформації і витрат праці [71]. Проте кількісні методи оцінки ризику в деяких ситуаціях – єдино допустимі для порівняння небезпек різної природи і у процесі експертизи складних об'єктів транспортної інфраструктури.

Ймовірісно-евристичні методи використовуються при недостатніх статистичних даних і у разі рідкісних подій, коли можливості вживання точних математичних методів обмежені через відсутність достатньої статистичної інформації. Ймовірісно-евристичні методи ґрунтуються на використуванні суб'єктивної ймовірності, одержуваної за допомогою експертного оцінювання.

Різні методи повинні застосовуватися залежно від стадії аналізу ризику і цілей дослідження. Методи можуть застосовуватися незалежно або на додаток один до одного, до того ж, якісні методи можуть включати кількісні критерії ризику (в основному, за експертними оцінками з використанням, наприклад, матриці «ймовірність - тяжкість наслідків» ранжирування небезпеки). Повний кількісний аналіз ризику може включати всі зазначені методи або деякі з них.

Також існують інші методи, які використовують у процесі аналізу та оцінці ризику на різних етапах проекту: відомості перевірок, загальний аналіз відмов, моделі опису наслідків, індекси небезпек, метод Монте-Карло, метод Делфі, аналіз Маркова, мозковий штурм, структуровані і напівструктуровані інтерв'ю, аналіз небезпечних чинників і критичних точок управління, аналіз корінної причини, аналіз рівнів надійності засобів захисту, мережі Бейєса, матриці наслідків/ймовірностей тощо.

Метод Делфі дозволяє скоротити розкид експертних оцінок шляхом встановлення зворотного зв'язку між кінцевими результатами досліджень і думками експертів.

Метод Монте-Карло ґрунтується на визначенні стохастичних параметрів, тобто на визначенні випадкових чисел, і використовується тоді, коли існує необхідність вибору найбільшої ймовірності ризику або вірогідності помилки.

Аналіз Маркова ґрунтується на лінійних диференціальних рівняннях, що встановлюють можливі збої через певний період часу.

Незважаючи на велику кількість методів та алгоритмів оцінки ризику, в даний час в Україні не існує загальноприйнятих методик оцінки ризику для технологічних комплексів, зокрема і для транспортної галузі, які відповідають усім вимогам сучасного виробництва.

Методики, рекомендовані державними органами України (МНС України, Держгірпромнаглядом України тощо), носять фрагментарний характер і не дозволяють у повному обсязі вирішувати важливі практичні завдання. Пропоновані методики оцінки ризиків мають істотні недоліки в практичному застосуванні на сучасному виробництві (вони трудомісткі, вимагають численні кількісні дані), тому вони не знаходять широкого застосування на практиці.

Великим недоліком багатьох зазначених раніше методик є те, що вони не враховують тривалість існування небезпечних факторів, а це в свою чергу не дає можливості розробляти ефективні способи запобігання випадків появи дорожньо-транспортних пригод.

Методи, засновані на використанні марковських випадкових процесів з дискретним числом станів і безперервним часом, дозволяє вирішувати завдання, пов'язані з розробленням організаційних і технічних заходів, за допомогою яких можна забезпечити перехід від існуючого статистичного рівня безпеки H_1 до нормованого H_0 [73], тим самим скоротити кількість аварій та постраждалих від ДТП.

2.4 Приклади застосування комплексних підходів до визначення ризику виникнення ДТП

2.4.1 Напрями моделювання ризиків ДТП

Для оцінки величини (вартості) ризику ДТП можуть бути використані моделі різного типу [74]. В залежності від обраної моделі задачу оцінки ризику ДТП можна розділити на кілька етапів (рис. 2.3).

У результаті використання логіко-графічних, логічних і імовірнісних моделей визначаються сценарії розвитку ДТП; ризик нанесення шкоди різних видів поодиноці, декільком або за всіма сценаріями; проводиться ранжирування сценаріїв за ступенем їхньої небезпеки і оцінка вірогідності ризику аварії при виникненні хоча б однієї аварійної ситуації або хоча б від одного чинника ризику; а також визначається ризик нанесення збитку хоча б одного та/або всіх видів при реалізації даної аварії.

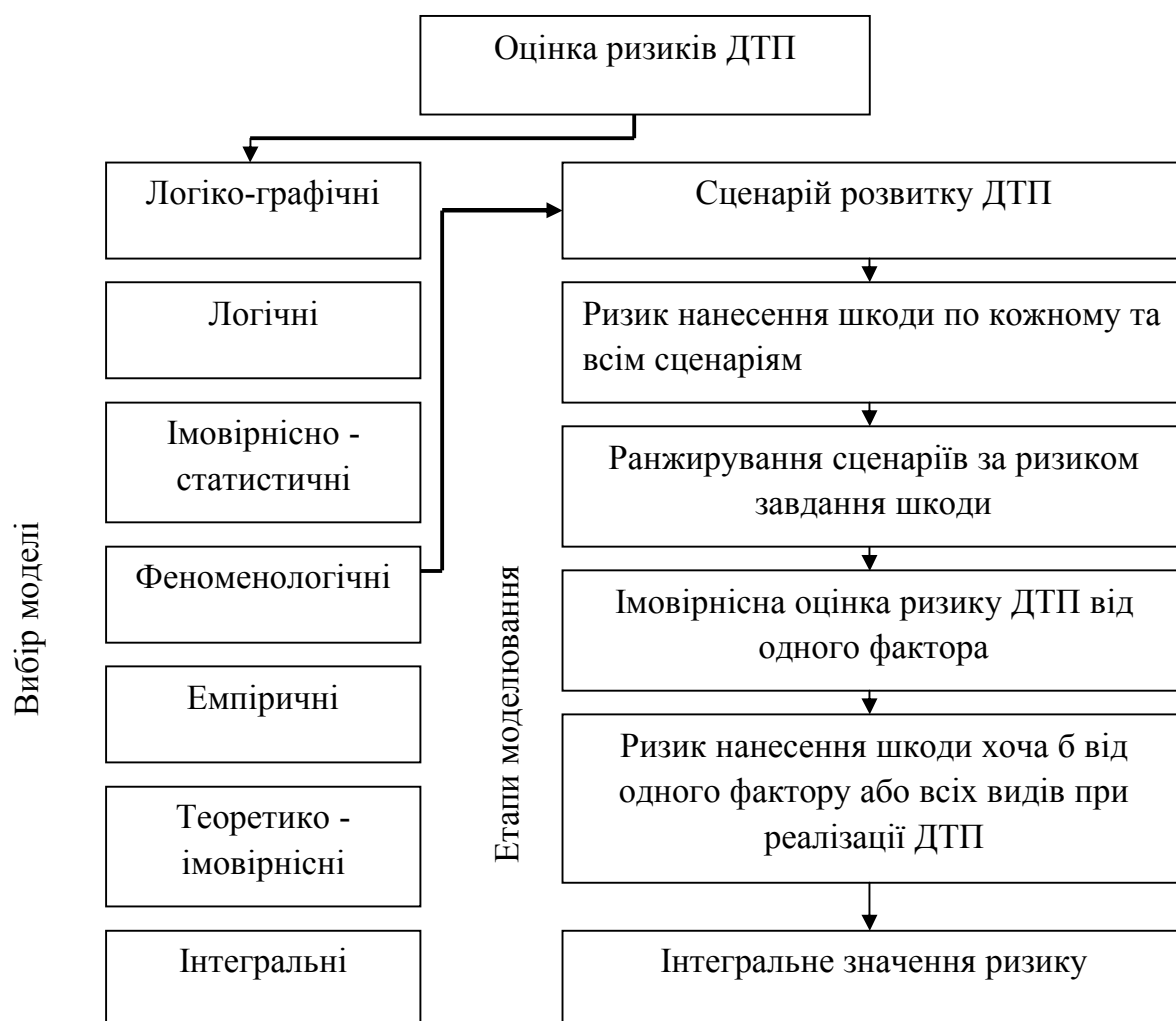


Рисунок 2.3 – Структурна схема процесу моделювання ризиків ДТП

Феноменологічні моделі доцільно використовувати для моделювання ризиків ДТП від сумісної дії декількох чинників. При виборі моделей оцінки ризику слід врахувати, що небезпеки від ДТП з погляду створення загрози для людей можна поділити на дві групи.

До першої відносяться небезпечні фактори дорожнього руху, які створюють вражаючі чинники (чинники ризику) безпосередньо для людей (тобто люди уразливі до первинних вражаючих чинників). До другої групи відносяться небезпечні фактори, які створюють вражаючі чинники для транспортних засобів, дорожніх споруд і обладнання. В цьому випадку загрозу для людей становлять вторинні вражаючі чинники, що формуються при руйнуванні перших.

Оцінка ризику для людей від небезпек першої групи можна проводити як для будь-яких інших об'єктів.

Для небезпек з другої групи загроза для людей має місце за умови їхнього знаходження у момент ДТП у небезпечних зонах, на проїзній частині (зупинках, тротуарі) та тощо. Ступінь загрози в цьому випадку залежить від частки часу, що проводиться людиною з деякої групи в уразливих небезпечними вражаючи ми факторами зонах.

При математичному моделюванні ризику він у найбільш загальному вигляді представляється як функція двох складових:

$$R = f(P, C), \quad (2.1)$$

Перша – це частота події (P), що у нашому випадку виражається кількістю ДТП за одиницю часу. Друга це наслідок (C), що є мірою шкідливості ДТП. Наслідки можуть бути виражені різними способами в залежності від виду аналізу (кількість загиблих чи травмованих, величина збитку тощо).

Розглянемо декілька найпоширеніших моделей ризиків для прикладу оцінки ризику ДТП:

1. Спрощена узагальнена оцінка ризику:

$$R^k = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \quad (2.2)$$

$$P_3 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^N e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

де R^k – ризик k -го виду;

P_1 – імовірність виникнення ДТП;

P_2 – імовірність формування певних небезпечних наслідків;

P_3 – імовірність того, що вказані наслідки призведуть до певної шкоди;

N – кількість вражаючих чинників;

t – час.

2. Ризик як математичне очікування збитку за всіма видами шкоди:

$$R = \sum_{i=1}^k W(C^k) \cdot P(C^k), \quad (2.3)$$

де $P(C^k)$ – імовірність виникнення збитку k -го виду,

$W(C^k)$ – вагова функція, за допомогою якої наслідки різного виду приводяться до єдиної шкали шкоди (визначається експертним шляхом).

3. Середнє значення збитку від ДТП за рік або інший інтервал часу Δt :

$$\bar{C} = \sum_{i=0}^I P(H_i) \cdot C_i = P(\Delta t) \cdot C, \quad (2.4)$$

де $P(\Delta t)$ – імовірність настання події за час Δt ;

$P(H_i)$ – імовірність гіпотези настання i -ї події на інтервалі часу Δt ,

C_i – збиток у процесі реалізації i -ї небезпечної події;

I – кількість небезпечних подій на даному інтервалі часу Δt .

4. Соціальний ризик ДТП за динамікою смертності (на 1000 осіб):

$$R_c = \frac{1000 \cdot (N_{32}(t) - N_{31}(t))}{N}, \quad (2.5)$$

де N_{32} , N_{31} – кількість загиблих за одиницю часу t в досліджуваній групі на початку і наприкінці звітного періоду;

N – загальна чисельність досліджуваної групи.

5. Індивідуальний ризик:

$$D_p = \frac{N(t)}{N(F)}, \quad (2.6)$$

де N – кількість потерпілих (загиблих) за одиницю часу t від фактору ризику F ;

D – кількість людей, що підпадають під дію фактору ризику F за одиницю часу t .

6. Колективний ризик:

$$R = P(d) \cdot N, \quad (2.7)$$

де $P(d)$ – імовірність отримання шкоди окремого індивідуума внаслідок ДТП;

N – загальна кількість людей, що підпадають під потенційний ризик.

$$R_i = \frac{P_i}{N_i}, \quad (2.8)$$

де R_i – ризик (імовірність) для індивідуума, що відноситься до групи ризику I , стати жертвою ДТП;

P_i – очікувана кількість небезпечних випадків ДТП за рік для групи I ;

N_i – кількість індивідуумів, що відносяться до групи I .

7. Постійний ризик:

$$R_i = \int_0^\infty H(t) \cdot \mu(t) dt; \quad (2.9)$$

$$R = \sum_{i=0}^I \int_0^\infty \tilde{H}_0 \cdot \mu_i(t) dt, \quad (2.10)$$

де R_i – ризик померти від i -го виду небезпеки впродовж всього майбутнього життя;

$\mu(t)$ – віковий коефіцієнт смертності від i -го виду небезпеки;

$H(t)$ – функція виживання до віку t ;

\tilde{H}_0 – модифікована функція виживання до віку t ;

$I=1$ – кількість видів небезпеки, що досліджується.

У виразі (2) імовірності є умовними, і кожна складова вимагає розроблення або вибору методів і моделей для їхнього розрахунку. Для визначення імовірності виникнення події P_1 потрібно використовувати методи теорії надійності, а також статистичні дані по аваріях. За відсутністю статистично значущої інформації визначення імовірності потрібно проводити з використанням причинно-наслідкових закономірностей виникнення аварійних ситуацій і розвитку ДТП як сукупності проміжних подій, тобто на базі розроблення відповідних сценаріїв з використанням методів логіко-імовірносного аналізу. Для визначення значення P_2 необхідно використовувати методи модельного підходу до аналізу і оцінки ризику.

Значення умовної імовірності P_3 визначаються як математичне очікування збитку за всіма видами шкоди [8, 9].

Окрім складової ймовірності ризику існують ще оцінки ризику у вигляді збитків в натуральному виразі. Це кількість потерпілих – для оцінки соціального ризику, визначення кількості пошкоджених транспортних засобів – для оцінки економічного ризику тощо.

Вирази (3) та (4) можуть бути використані для визначення ризику як математичного очікування збитку від ДТП усіх видів. По співвідношенню (4) ризик розраховується в грошовому еквіваленті, а по співвідношенню (3) – це безрозмірна величина. Інтерпретація ризику як математичного очікування збитку показує, що той самий ризик може бути викликаний або високою імовірністю ДТП із незначними наслідками або обмеженою ймовірністю ДТП з високим рівнем збитку.

Співвідношення (2)–(4) є спрощеними об’єктно-залежними моделями оцінки ризику ДТП. У відкритому вигляді вони не описують реальних механізмів досліджень сценаріїв розвитку аварійних ситуацій.

Найзагальнішим показником ризику є середнє значення збитків від ДТП за рік або інший інтервал часу (4). Якщо протягом досліджуваного періоду може відбутися більш одного ДТП, то показником ризику є сума збитків за всіма подіями, що трапились. Проте визначення рівня ризику як категорії імовірності є більш зручним і прийнятним при рішенні широкого круга задач наукового і практичного характеру, особливо задач, що стосуються загальної (комплексної) оцінки рівня безпеки дорожнього руху.

Для оцінки ризику ДТП також можуть використовуватися кількісні показники індивідуального (6, 9, 10), колективного (7, 8) і соціального (5) ризиків.

2.4.2 Застосування статистичного методу для визначення основних причин нещасних випадків із робітниками транспортних підприємств з подальшим ранжируванням отриманих значень

Основним джерелом кількісної інформації про технічні, організаційні і психофізіологічні причини нещасних випадків, що призводить до травматизму робітників транспортних підприємств, є офіційні статистичні дані (далі – ОСД).

Одним зі способів комплексної оцінки ризику виникнення нещасних випадків з працівниками транспортних підприємств є збір ОСД і проведення систематизації отриманих даних за допомогою статистичного методу з подальшим ранжируванням отриманих значень

Статистичний метод заснований на вивченні причин травматизму за актами розслідування нещасних випадків форми Н-1 за певний період часу. Цей метод дозволяє визначити динаміку травматизму, виявити закономірності та зв'язки між обставинами і причинами виникнення нещасних випадків (далі – НВ).

Аналіз рівня виробничого травматизму на транспортних підприємствах проводиться з використанням даних матеріалів спеціального розслідування на підставі актів, згідно з формою Н-1, затвердженої Порядком проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України № 1232 від 30.11.2011 р. [75]. Також для аналізу можуть бути використані дані, представлені Державним комітетом статистики України, згруповані за однорідними показниками: причинами нещасних випадків та видами подій, що призвели до цих випадків.

Для правильного судження про рівень травматизму та захворюваності на виробництві користуються відносними показниками, одним з яких є коефіцієнт частоти травматизму.

Коефіцієнт частоти травматизму – це кількість нещасних випадків за звітний період, що припадає на тисячу працівників:

$$K_{\text{ч}} = \frac{N_{\text{тр}}}{N_{\text{заг}}}, \quad (2.11)$$

де $N_{\text{тр}}$ – кількість врахованих нещасних випадків, що призвели до втрати працездатності, ос.;

$N_{\text{заг}}$ – середньооблікова кількість працівників за звітний період.

Істотним недоліком коефіцієнта частоти травматизму є те, що він не характеризує важкість травматизму. Проте з його допомогою, можна визначити динаміку зміни рівня травматизму внаслідок дії причин нещасних випадків та видів подій, що призвели до них.

Коефіцієнт частоти травматизму внаслідок настання i -ої причини НВ за звітний період можна визначити за формулою:

$$K_{\text{чпр}} = \frac{N_{\text{пр}i}}{N_{\text{заг}}} \cdot 1000, \quad (2.12)$$

де $K_{\text{чпр}}$ – коефіцієнт частоти травматизму в результаті дії i -ої причини НВ за звітний період, що дорівнює 1 року та припадає на тисячу працівників;

$N_{\text{пр}i}$ – кількість потерпілих на виробництві, внаслідок дії i -ої причини, ос.,

$N_{\text{заг}}$ – середньооблікова кількість працюючих за звітний період, що дорівнює 1 року, ос.

Коефіцієнт частоти травматизму внаслідок дії основних причин має не однакову закономірність прояву. Кількість НВ внаслідок дії одних причин має тенденцію до зменшення за обраний період, а деяких (невикористання або відсутність засобів індивідуального захисту, порушення правил дорожнього руху, а також організаційні і психофізіологічні причини) – навпаки, має тенденцію до збільшення.

Систематизація та аналіз причин НВ дає можливість зробити висновок про те, що багато причини травматизму на виробництві носять організаційний характер.

При аналізі основних причин НВ на підприємствах транспортної галузі можна виділити домінуючі, такі як:

- незадовільний технічний стан виробничих процесів, території, транспортних засобів;
- порушення трудової і виробничої дисципліни;
- порушення правил дорожнього руху;
- порушення вимог безпеки під час експлуатації обладнання та транспортних засобів;
- порушення технологічного процесу;
- психофізіологічні причини, пов'язані з втомою, хворобливим станом тощо.

Для того щоб зрозуміти повну картину рівня травматизму на виробництві в транспортній галузі, необхідно враховувати не тільки причини НВ, але і види подій, внаслідок яких стався НВ.

Згідно з [75] існує 23 види подій, що призводять до НВ на виробництві. До них належать: події на транспорті (ДТП на дорогах загального користування та ДТП на території підприємства), падіння потерпілого, падіння, обрушення, обвал предметів, матеріалів, породи, ґрунту, дія предметів та деталей, що рухаються тощо.

Використання коефіцієнта частоти травматизму для визначення кількості нещасних випадків у результаті виникнення j -ої події, внаслідок якої настав НВ, що припадають на 1000 працівників, визначають за формулою:

$$K_{\text{чп}} = \frac{N_{\text{п}j}}{N_{\text{заг}}} \cdot 1000, \quad (2.13)$$

де $K_{\text{чп}}$ – коефіцієнт частоти травматизму в результаті виникнення j -ої події за звітний період, що дорівнює 1 року, що припадає на тисячу працівників;

$N_{\text{п}j}$ – кількість потерпілих на виробництві, внаслідок виникнення j -ої події, ос.,

$N_{\text{заг}}$ – середньооблікова кількість працівників за звітний період, що дорівнює 1 року, ос.

Проведений аналіз числових показників коефіцієнта частоти травматизму на підприємствах транспорту громадського користування, у результаті виникнення основних видів подій, що призводять до НВ, а також динаміка зміни цього показника за період 2010–20014 рр. показує, що найбільш частими подіями, які призводять до НВ є падіння потерпілого, зокрема з висоти (близько 30%) тощо (рис. 2.4).

Інші, найбільш небезпечні й розповсюджені події, які призводять до НВ на транспортних підприємствах, мають наступну частоту виникнення:

- події на транспорті – 19,1 %;
- дія предметів та деталей, що рухаються, розлітаються, обертаються – 14,4 %;
- падіння, обрушення, обвал предметів, матеріалів, породи, ґрунту тощо – 8,6 %;
- навмисне вбивство або травма, здійснені сторонніми особами – 7,4 %.

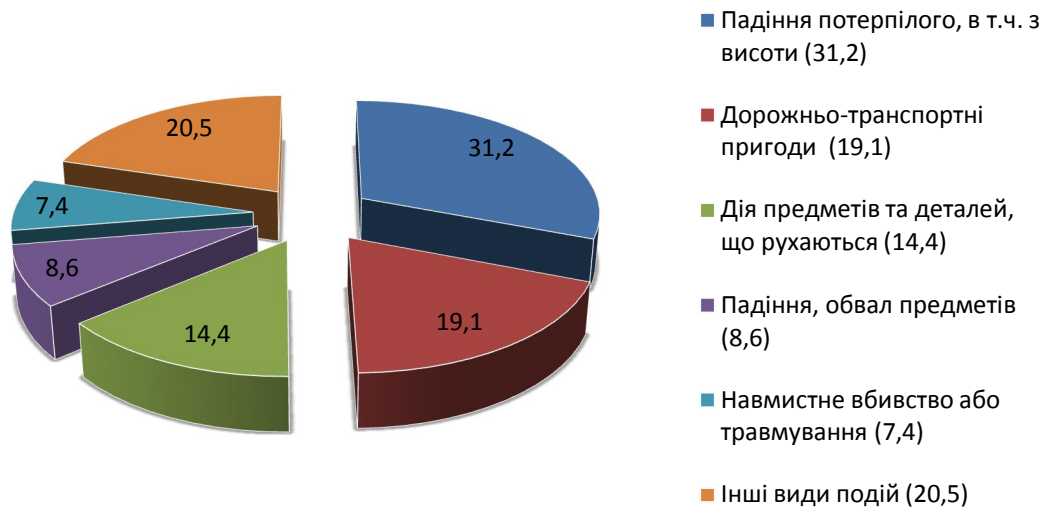


Рисунок – 2.4 Процентне співвідношення НВ на підприємствах транспорту громадського користування України внаслідок виникнення основних видів подій за 2010–2014 рр.

Такий аналіз дає можливість робити висновки про те, що особливу увагу варто приділяти запобіганню НС, які виникли внаслідок настання основних подій, викликаних дією основних причин, шляхом впровадження додаткових профілактичних заходів, посиленням контролю над виконанням робіт з дотриманням всіх вимог безпеки.

Однак застосування тільки статистичного методу, і тим більше коефіцієнта частоти травматизму, не дає можливості повністю вирішити проблему зниження високого рівня травматизму у як у транспортній галузі, так і всієї промисловості в цілому.

Причинами неточності прогнозування можуть бути:

- зміна умов праці або факторів, які є причинами травматизму в минулому;
- свобода дій працюючого персоналу (присутність людського фактора);
- неможливість точного обліку всієї інформації;
- присутність фактора випадковості;
- інші фактори, що породжують високий ступінь невизначеності.

Тому на сьогодні дуже гостро стоїть питання застосування комплексних методів, які дадуть можливість не тільки аналізувати наявні дані (застосування статистичного методу), але й за допомогою цих даних визначати відповідні математичні моделі, що враховують комплексну дію безлічі виробничих факторів, прогнозувати можливий рівень виробничого травматизму, а також

оцінювати ефективність запропонованих заходів щодо зниження ризику виникнення НВ на виробництві.

Введемо в розгляд безліч ризикоутворюючих причин (далі – РУП) [76]:

$$ROP = \{rop_i\}_{i=1}^r, \quad (2.14)$$

де rop_i – найменування i – ої ризикоутворюючої причини;

r – кількість причин ($i = \overline{1, r}$).

Кожний елемент rop_i множини ROP характеризується двома параметрами – частотою кількості потерпілих і частотою кількості загиблих від травматизму на транспортних підприємствах під впливом rop_i -ої причини за період часу T , який дорівнює календарному року.

Частота кількості потерпілих r_{rop}^n – за проміжок часу T , визначається як величина, що дорівнює:

$$r_{rop}^n = \frac{kn_{rop}}{kn_{заг}}, \quad (2.15)$$

де kn_{rop} – кількість потерпілих на ПрТОП від впливу rop_i -ої причини за період часу T ;

$kn_{заг}$ – загальна кількість потерпілих на підприємстві за період часу T .

Частоту кількості загиблих – r_{rop}^{nc} за проміжок часу T , що дорівнює цьому ж календарному році, будемо визначати як величину рівну:

$$r_{rop}^{nc} = \frac{knc_{rop}}{knc_{заг}}, \quad (2.16)$$

де knc_{rop} – кількість загиблих на ПрТОП, від впливу rop_i -ої причини за період часу T ;

$knc_{заг}$ – загальна кількість загиблих на підприємстві за період часу T .

Використовуючи наведені вище позначення, представимо кожний rop_i -ий елемент, $rop_i \in ROP$ у вигляді:

$$rop_i = \{r_{rop}^n; r_{rop}^{nc}\} \quad (2.17)$$

Випадкові події C_{rop}^n і C_{rop}^{nc} полягають у тому, що rop_i -а ризикоутворююча причина під впливом негативних факторів призводить до настання несприятливих подій з кількістю потерпілих – kn_{rop} для випадкової події C_{rop}^n і з кількістю загиблих від травматизму – knc_{rop} для випадкової події C_{rop}^{nc} за аналізований період часу, що дорівнює календарному року.

Чисельною мірою цих подій вважається $H(C_{rop}^n)$ – імовірність впливу ризикоутворюючої причини на настання випадкової події C_{rop}^n та $H(C_{rop}^{nc})$ – імовірність впливу ризикоутворюючої причини на настання випадкової події C_{rop}^{nc} .

Кількість потерпілих kn_{rop} (загиблих – knc_{rop}) від травматизму за основними ризикоутворюючими причинами (РУП) за T_k ($k = \overline{1,5}$) календарний рік будемо розглядати як кількість результатів незалежних спостережень в оцінюваному році за цією причиною.

Тоді, згідно з [80-83], можна розглядати розрахункові значення частоти r_{rop}^n ; r_{rop}^{nc} як значення імовірності $H(C_{rop}^n)$ – для випадкової події C_{rop}^n та значення ймовірності $H(C_{rop}^{nc})$ – для випадкової події C_{rop}^{nc} за кожен рік, що аналізується:

$$H(C_{rop}^n) = r_{rop}^n = \frac{kn_{rop}}{kn_{зар}}, \quad (2.18)$$

$$H(C_{rop}^{nc}) = r_{rop}^{nc} = \frac{knc_{rop}}{kn_{зар}}, \quad (2.19)$$

На підставі отриманих розрахункових даних будуть прийматися довгострокові рішення. Тому доцільно для зниження статистичної похибки і забезпечення більш високої точності оцінки частоти нещасних випадків і частоти нещасних випадків зі смертельним наслідком, тобто значень $H(C_{rop}^n)$ та $H(C_{rop}^{nc})$ збільшити обсяг спостережень шляхом розширення інтервалу часу спостереження, тоді:

$$H(C_{rop_i}^n) = r_{rop_i}^n \cdot \Delta t = \frac{kn^{cp}_{rop_i}}{kn^{cp}_{зар}}, \quad (2.20)$$

$$H(C_{rop_i}^{nc}) = r_{rop_i}^{nc} \cdot \Delta t = \frac{knc^{cp}_{rop_i}}{kn^{cp}_{зар}}, \quad (2.21)$$

де $kn^{cp}_{rop_i} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T kn_{rop_i}(t)$ – середнє значення кількості потерпілих у транспортній галузі, від впливу rop_i -ої причини за T календарних років;

$kn^{cp}_{обц} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T kn_{обц}(t)$ – середнє значення загальної кількості потерпілих у транспортній галузі за T календарних років;

$knc^{cp}_{rop_i} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T knc_{rop_i}(t)$ – середнє значення кількості загиблих у транспортній галузі, від впливу rop_i -ої причини за T календарних років;

$knc^{cp}_{обц} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T knc_{обц}(t)$ – середнє значення загальної кількості загиблих у транспортній галузі за T календарних років;

Δt – часовий період, що дорівнює календарному року.

Таким чином, ризикоутворююча причина характеризується двома параметрами: частотою кількості потерпілих і частотою кількості загиблих. Але ці частоти не є чисельною мірою несприятливих подій. Відповідно кожній rop_i -ій причині буде відповідати два значення ймовірності настання несприятливої події:

$$rop_i = \{H(C_{rop_i}^n); H(C_{rop_i}^{nc})\} \quad (2.22)$$

де $H(C_{rop_i}^n)$ – ймовірність впливу рискообразуючої причини виникнення несприятливої події C_{rop}^n з кількістю потерпілих – kn_{rop} ;

$H(C_{rop_i}^{nc})$ – ймовірність впливу рискообразуючої причини виникнення несприятливої події C_{rop}^{nc} з кількістю загиблих – knc_{rop} .

Виробничий ризик, згідно з прийнятими визначеннями, безпосередньо залежить від величини частотних характеристик ризикоутворюючих причин, тобто чим більше значення частотної характеристики цієї причини, тим більше вірогідність того, що станеться нещасний випадок, яке призведе до травматизму або загибелі працівника.

Для оцінки важкості наслідків нещасних випадків та для прогнозування можливих виробничих ризиків проводиться операція ранжирування ризикоутворюючих причин за пріоритетом. Пріоритетною вважається та ризикоутворююча причина, яка може призвести до нещасного випадку з найбільшим значенням ймовірності виникнення цієї події.

Ранжирування – це спосіб вираження переваги шляхом подання елементів у вигляді послідовності відповідно до зростання або убуття їх переваг [81–84].

Ранжирування елементів множини здійснюється шляхом їх попарного порівняння з приписуванням оцінки в ранговій шкалі. При прямому ранжируванні більш кращому елементу приписується менше значення оцінки. Рангом елемента вважають його номер місця, яке він займає в відранжированому ряді.

Згідно [80], для всіх (\forall) елементів множини $d', d'' \in D$, відношення нестрогої переваги $d' \geq d''$ означає, що елемент d' вважається не менш кращим за елемент d'' , якщо при їх попарном порівнянні виконується умова $d' > d''$ (d' строго переважніший за d''), або $d' \approx d''$ (d' еквівалентен d'').

Правило ранжирування в цьому випадку має вигляд:

$$\forall d', d'' \in D \ d' \geq d'' \text{ якщо } d' > d'' \text{ або } d' \approx d'' . \quad (2.23)$$

Ранжирування ризикоутворюючих причин будується на попарному порівнянні числових значень ймовірностей $H(C_{rop_i}^n)$ для подій $C_{rop_i}^n$ та, відповідно, на попарному порівнянні числових значень ймовірностей $H(C_{rop_i}^{nc})$

для подій $C_{rop_i}^{nc}$ за правилом (2.23). Рангом елемента вважається його порядковий номер у відтранжированному ряді.

У такий спосіб проводиться ранжирування безлічі значень ймовірностей для події $C_{rop_i}^n - \{H(C_{rop_i}^n)\}_{i=1}^r$ а потім безлічі значень ймовірностей для події $C_{rop_i}^{nc} - \{H(C_{rop_i}^{nc})\}_{i=1}^r$.

Причина «Інші причини» ранжируванню не підлягала, оскільки вона об'єднує у собі групу ризикоутворюючих причин, що рідко зустрічаються, природа яких мало або зовсім не вивчена. В цьому випадку присутні неповнота і неточність інформації, тобто невизначеність. Невизначеність припускає існування негативних факторів, ступінь впливу яких на ризикоутворюючі причини невідома. У зв'язку з цим аналіз впливу таких причин на несприятливі події ускладнений. Проте ймовірність виникнення цієї причини досить велика, тому нехтувати нею повністю не можна.

У сформованій ситуації для аналізу і оцінки ризиків (ймовірності виникнення НВ) доцільно використовувати комплексний підхід у вирішенні поставленої проблеми, до складу якого будуть входити елементи як кількісного, так і якісного аналізу.

Практичний досвід щодо оцінки ризиків, описаний у [39, 79, 84], дозволяє розбити отримані розрахункові значення ймовірностей настання несприятливих подій на інтервали, тобто кількісні значення ймовірності задати інтервалами. У таблиці 2.1 відображено кількісні та якісні значення оцінки ймовірності настання нещасних випадків.

Таблиця 2.1– Кількісні інтервальні значення та якісні оцінки ймовірностей виникнення нещасних випадків

№ з.п	Інтервальні значення	Якісна оцінка значення ймовірності
1	1 – 0,4	катастрофічні втрати
2	0,3 – 0,12	значні втрати
3	0,11 – 0,03	серйозні втрати
4	0,02 – 0,009	істотні втрати
5	0,008 – 0,002	незначні втрати
6	0,001 – 0	жодних втрат

Отже, оцінка НВ буде включати в себе моделювання і аналіз параметрів кількісної характеристики розглянутої несприятливої події на виробництві. На рисунку 2.5 наведено схему оцінки НВ.

Отже, методи моделювання ризиків ДТП зазвичай полягають у послідовному розгляді факторів, аналізі всіх можливих видів аварійних ситуацій і виявленні їхніх результуючих впливів на безпеку дорожнього руху. В загальному вигляді збиток ДТП можна представити як добуток імовірності події та наслідків.

Тому один і той же ризик може бути викликаний або високою імовірністю ДТП з незначними наслідками або обмеженою імовірністю ДТП з високим рівнем збитку.

Більшість математичних моделей оцінки ризиків ДТП є спрощеними об'єктно-залежними моделями. В явному вигляді вони не описують реальних механізмів досліджень сценаріїв розвитку аварійних ситуацій. Кожна група моделей враховує одну із сторін аналізу або оцінки ризику і не охоплює всього різноманіття процесів виникнення і розвитку аварій на небезпечних білянках та об'єктах вулично-дорожньої мережі.

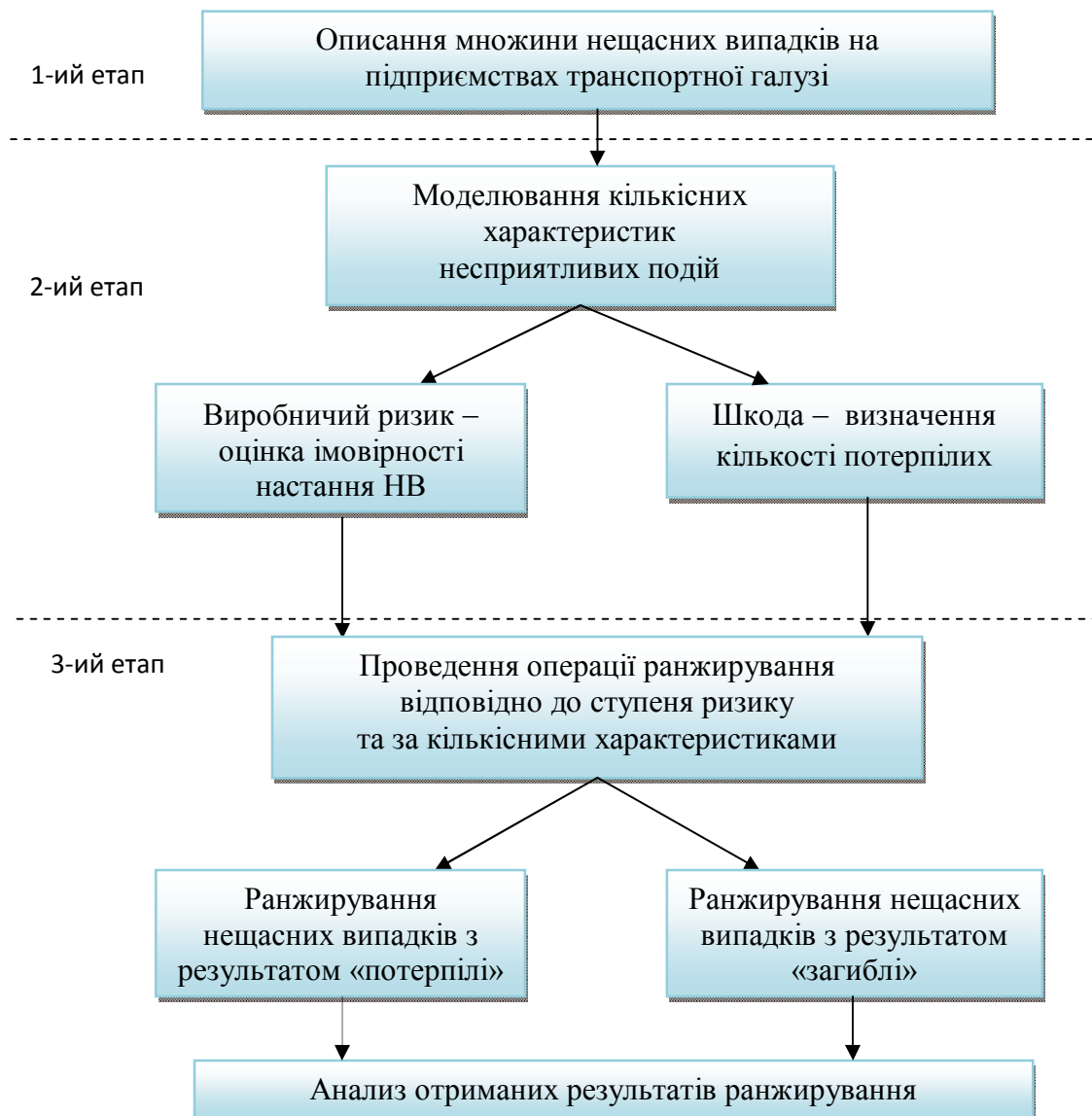


Рисунок 2.5 – Схема оцінки несприятливих подій

Тому для конкретної задачі аналізу слід обирати відповідні моделі оцінки ризиків, що дозволяють отримати достатньо точні результати з найменшими витратами на розрахунки та збір вихідних даних.

Контрольні питання

1. Що повинна забезпечувати система нормування ризиків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру?
2. Дайте визначення прийнятного ризику?
3. Поясніть концепцію ризик – менеджменту?
4. Які основні нормативно – правові документи України визначають нормування ризиків та їх прийнятних рівнів?
5. Назвіть основні методи аналізу ризику на транспорті? В чому полягає їх особливість?
6. З яких етапів складається оцінка ризиків ДТП?
7. Що є основним джерелом інформації щодо технічних, організаційних і психофізіологічних причини нещасних випадків та аварій на транспорті?
8. Які основні події призводять до нещасних випадків та аварій на транспорті?
9. Які кількісні інтервальні значення і якісні оцінки ймовірностей виникнення нещасних випадків можуть бути застосовані?
10. Опишіть алгоритм оцінки несприятливих подій?

3 ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ РИЗИКУ

3.1 Ідентифікація небезпек

Ідентифікація є першим і одним із основних етапів аналізу ризику. Ризиками, про існування або про властивості яких невідомо, неможливо ефективно керувати. Тому завдання виявлення всіх ризиків є надзвичайно важливим.

По суті, ідентифікація зводиться до виявлення можливих проблем. У цьому випадку під «проблемою» можна розуміти подію, об'єкт, людину, транспортний засіб тощо, тобто все, що може стати причиною виникнення ризику або надзвичайної події.

Першочергово, необхідно визначити, що може відбутися не так, щоб потім вирішити, як це усунути або обійти.

Ідентифікація ризику – процес знаходження, складання переліку та опису елементів ризику.

Основними елементами ризику є:

- 1) причини, які призводять до настання надзвичайної події;
- 2) небезпечні явища (події), які надають вплив на об'єкт;
- 3) види впливу, які можуть призвести до зміни стану об'єкта;

4) фактори ризику, які впливають на ймовірність реалізації ризику та важкість наслідків.

Підходи до ідентифікації ризиків, здебільшого, залежать від міри і ступеня формалізації процесів у системі. Для невеликих систем ідентифікація зводиться, зазвичай, до складання переліку окремих можливих несприятливих подій.

У великих системах розробляються певні стандарти, дотримання яких призводить до досягнення поставлених цілей. Відхилення від них розглядається як основна причина неотримання бажаних результатів. В цьому разі ідентифікація може бути зведена до пошуку можливих причин відхилення від цих стандартів.

У будь-якому разі необхідно виявити максимальну кількість ризиків, які можуть виникнути у системі. Для впорядкування процесу їх знаходження широко використовуються різні класифікації, які задають напрям пошуку.

Виявлені ризики групуються та описуються в прийнятому на підприємстві єдиному форматі, щоб спростити процес їх порівняння.

Організація процесу ідентифікації ризиків потребує вирішення цілої низки питань, до яких, зокрема:

- яку інформацію необхідно збирати;
- з яких джерел можна її отримати;
- у який спосіб цю інформацію потрібно систематизувати/структурувати і зберігати;
- як її аналізувати.

В американській літературі з ризик-менеджменту процес ідентифікації часто зводять до визначення так званих «ризикових експозицій». Ризикова експозиція (або експозиція ризику) (risk exposure) становить одиницю обліку ризиків, яка задається, принаймні, чотирма параметрами:

- 1) цінність, якою може бути завдано шкоди (певне майно, співробітник, транспортний засіб тощо);
- 2) можлива подія, яке може завдати шкоди цій цінності;
- 3) суб'єкт (особа або організація), яка понесе втрати за заподіяння шкоди певної цінності внаслідок настання зазначеної події;
- 4) втрати суб'єкта, спричинені заподіянням шкоди даної цінності в результаті настання вказаної події.

Для повного опису експозиції ризику необхідно визначити всі зазначені параметри. Зміна принаймні одного з них означає зміну експозиції.

Отримана з різних джерел інформація про виявлені ризики збирається в інформаційній системі управління ризиками. Її основою є так званий реєстр ризиків. У ньому зібрані дані структуруються певним чином (зазвичай у табличному вигляді), що дає змогу їх наочно представляти та порівнювати. Єдиної рекомендованої форми реєстру немає. Однак здебільшого в ньому присутні поля, визначальні для кожного ризику:

- категорія за різними критеріями класифікації;
- різновиди цінностей, підданих дії даного ризику;
- основні причини реалізації ризику;
- опис небезпечних подій;
- види впливу небезпечних подій на цінності при реалізації певного ризику;
- перелік факторів, що впливають на ймовірність і тяжкість реалізації ризику (фактори ризику);
- перелік співробітників або підрозділів, відповідальних за роботу з певним ризиком.

Ця інформація реєструється в реєстрі в процесі ідентифікації. Крім того, в реєстрі передбачені поля, які заповнюються в процесі подальшої роботи, зокрема, під час оцінювання та обробки ризиків. Вони визначають:

- імовірність настання ризику;
- важкість наслідків;
- можливі заходи регулювання та фінансування певного ризику;
- способи контролю рівня ризику та ефективності управління ним.

Подання щодо повноти (ступеня деталізації) інформації по кожному полю також різні. Надмірно деталізована інформація вимагає великих трудових витрат на її збір і реєстрацію, вона може погано піддаватися формалізації і обробці. У той же час поверхневий опис не дозволяє виявляти аспекти ризику.

Завданням ризик-менеджера є вибір такої структури і формату заповнення реєстру ризиків, які найбільш адекватно відповідають цілям системи управління ризиками і наявних трудових та інформаційних ресурсів організації.

3.2 Дискретні та неперервні моделі оцінки ризику

Ризик, як і невизначеність, що лежить в його основі, передбачає можливість настання різних наслідків, кожен з яких імовірний більшою чи меншою мірою.

З математичного погляду це може бути описане та виміряне з використанням випадкових величин.

Існують дискретні і неперервні випадкові величини. Дискретними називають такі випадкові величини, які можуть приймати тільки кінцеву або рахункову безліч значень. Безперервні випадкові величини можуть приймати будь-які значення з деякого замкнутого або відкритого (зокрема нескінченного) інтервалу. У найпростішому випадку, коли існує кінцева безліч результатів, де кожен з яких має фіксовані (невипадкові) наслідки, ризик може бути описаний за допомогою однієї дискретної випадкової величини.

Наприклад. Ризик збитків від крадіння автомобіля протягом деякого періоду часу для власника може бути описаний дискретною випадковою величиною, що має два виходи з фіксованими наслідками (рис. 3.1):

- 1) «розкрадання не сталося», наслідки дорівнюють нулю;
- 2) «викрадення сталося», наслідки дорівнюють вартості автомобіля.

Для обох випадків наслідки приймають заздалегідь відомі невідповідні значення.

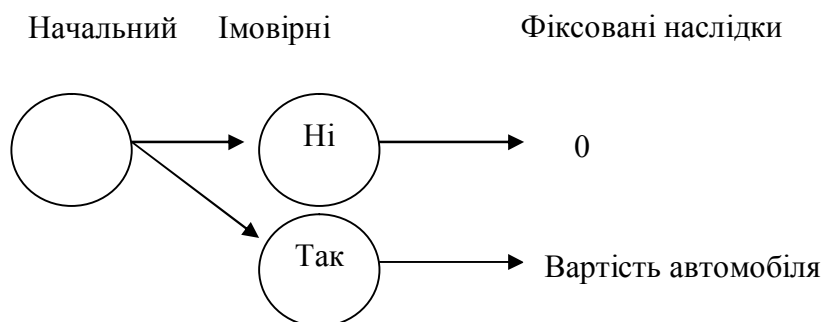


Рисунок 3.1 – Ризик угону автомобіля

Коли ризик пов'язаний зі зміною показника, який може прийняти будь-яке значення на деякому інтервалі, можна достатньо просто моделювати ризик, описавши даний показник за допомогою неперервної випадкової величини, розподіленої у вказаному інтервалі.

Дискретні або безперервні моделі можуть комбінуватися при описі конкретної ризикової ситуації. Наприклад, якщо в дискретній моделі наслідки усіх або окремих випадків можуть приймати безліч значень непередбачених для суб'єкта способом, то вони повинні описуватися неперервною випадковою величиною.

Наприклад. В результаті ДТП автомобіль може отримати різні пошкодження, збитки від яких можуть досягти його вартості (або навіть перевищити її). Однак такі важкі наслідки малоймовірні. Передбачити заздалегідь, які саме пошкодження отримає автомобіль і яка буде шкода, не можна. Тому ризик збитків від пошкодження автомобіля в дорожньо-транспортному події в окремій поїздки може бути описаний за допомогою двох випадкових величин (рис. 3.2):

- 1) дискретної, що характеризує можливість настання ДТП і має два результати («ДТП відбулось» і «ДТП не відбулось»);
- 2) безперервної, що описує розмір шкоди (наслідків) у разі його настання.

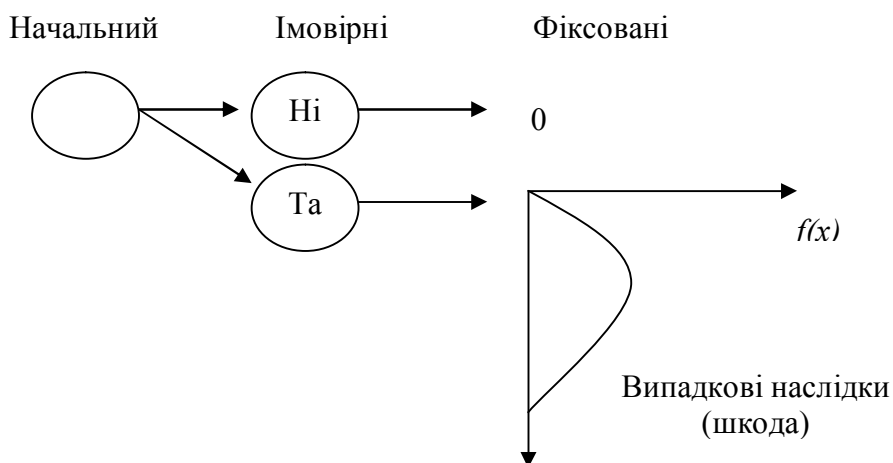


Рисунок 3.2 – Ризик пошкодження автомобіля у ДТП

У цьому разі збитки (наслідки) від результату «ДТП не відбулось» не випадкові і дорівнюють нулю.

Залежно від особливостей модельованого ризику, цілей дослідження і необхідної деталізації ту саму ситуацію невизначеності можна подати як у вигляді дискретної, так і у вигляді безперервної моделі, а також у вигляді їхньої комбінації.

3.3 Моделювання і прогнозування небезпечних ситуацій на дорозі

Моделювання і прогнозування небезпек на практиці проходить три стадії.

На першій стадії визначають матеріальні носії небезпек, тобто небезпечні та шкідливі чинники й умови, за яких вони можуть призвести до небажаних наслідків.

На другій стадії визначається головна небезпечна подія та послідовність інших небезпечних подій та умов, які їй передують. На цій стадії будується логічна схема розвитку небезпеки у вигляді дерева небезпечних подій та причин. Для побудови таких схем використовують певні позначення, зображені на рисунках 3.3–3.4.



Рисунок 3.3 – Умовні позначення, що використовують для побудови логічних схем розвитку небезпеки у вигляді дерева небезпечних подій та причин

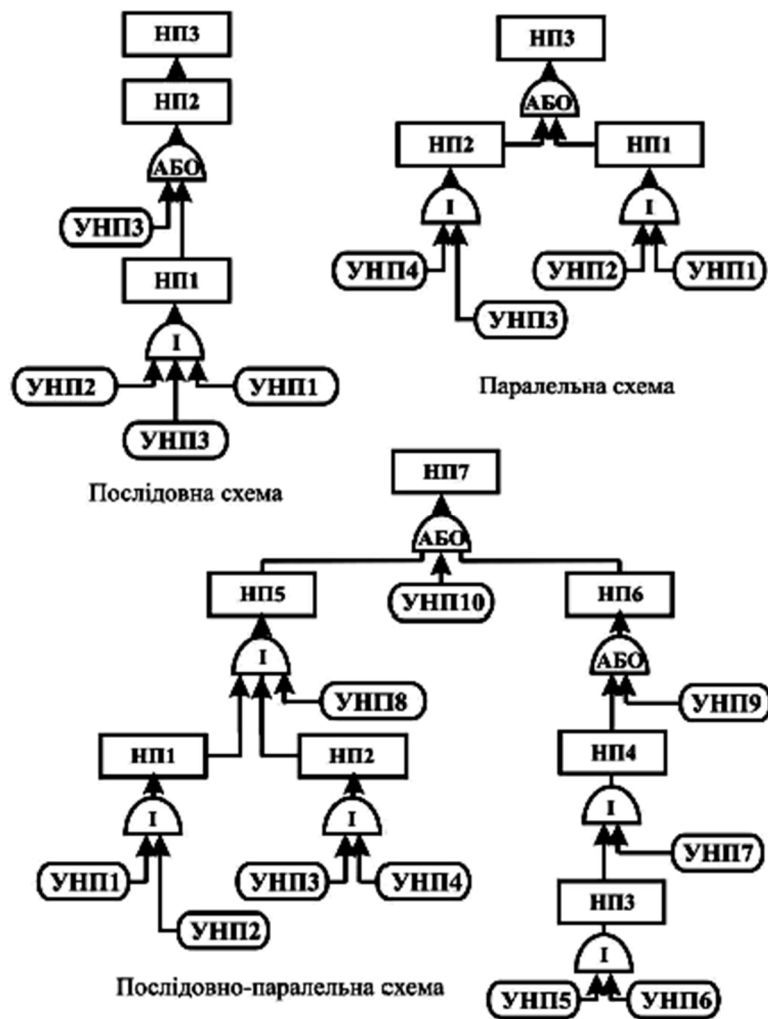


Рисунок 3.4 – Типові схеми розвитку небезпечних подій та умовні позначення, які використовують під час їхньої побудови

Небезпечні події можуть відбуватися послідовно одна за одною, паралельно (одночасно) одна одній, а найчастіше – за змішаною послідовно-паралельною схемою. Для відображення схем реалізації небезпечних подій використовують логічні оператори «I» та «АБО». Логічний оператор «I» показує, що подія A відбудеться, якщо одночасно відбудуться всі події, які їй передують, тобто і B , і V .

Імовірність настання такої події встановлюють згідно з теорією ймовірності за формулою:

$$P_A = P_B P_V, \quad (3.1)$$

де P_A , P_B і P_V – імовірності настання подій A , B і V , відповідно.

Логічний оператор «АБО» показує, що подія A відбудеться, якщо відбудеться одна із подій, яка їй передуює, тобто або B , або C . Імовірність настання цієї події встановлюють згідно з теорією ймовірності за формулою:

$$P_A = P_B + P_C - P_B P_C. \quad (3.2)$$

Шляхом послідовного визначення ймовірностей небезпечних подій за логічною схемою визначають імовірність виникнення головної небезпечної події.

Як приклад моделювання і прогнозування небезпечних ситуацій наводимо побудову моделі дорожньо-транспортної пригоди під час руху пішохода за заданим маршрутом, який подано на рисунку 3.5.

Подібним маршрутом, яким потрібно пройти два перехрестя (нерегульоване НП і регульоване РП), більшість з нас проходить щодня. Модель побудована для випадку, коли простежується неперервний потік автомобілів чи пішоходів, і відповідає умовам пікових години у великих містах, тобто проектує найнебезпечнішу ситуацію.

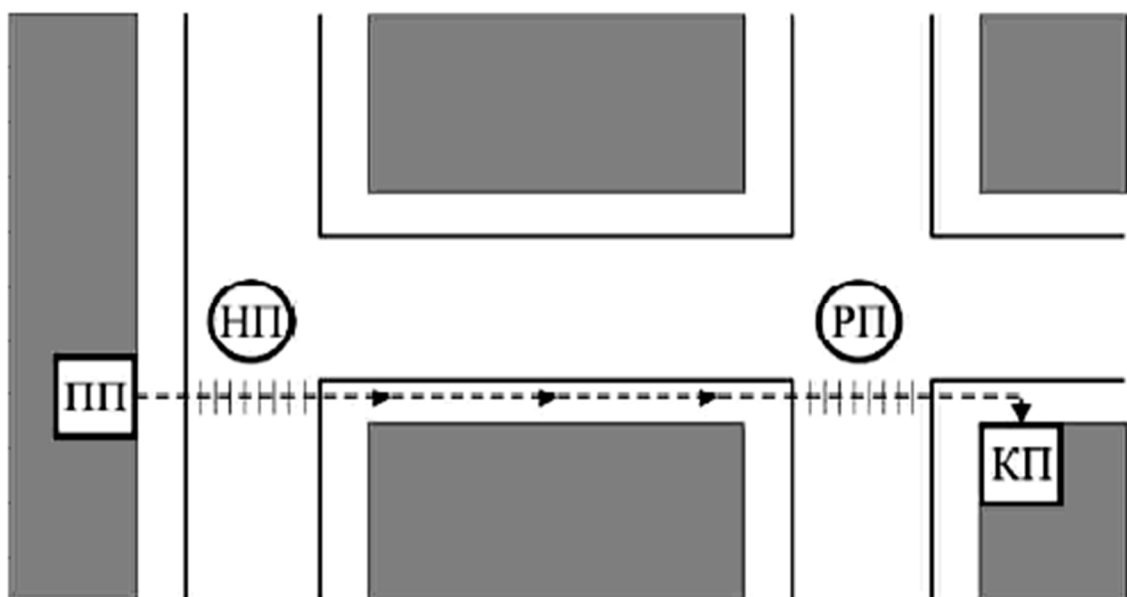


Рисунок 3.5 – Схема маршруту переміщення пішохода

Побудова моделі починається із визначення головної події – дорожньо-транспортної пригоди (зіткнення пішохода з транспортним засобом) і продовжується пошуком всіх комбінацій подій, які можуть призвести до настання головної події. Можливу схему моделі дорожньо-транспортної пригоди на заданому маршруті зображено на рисунку 3.6

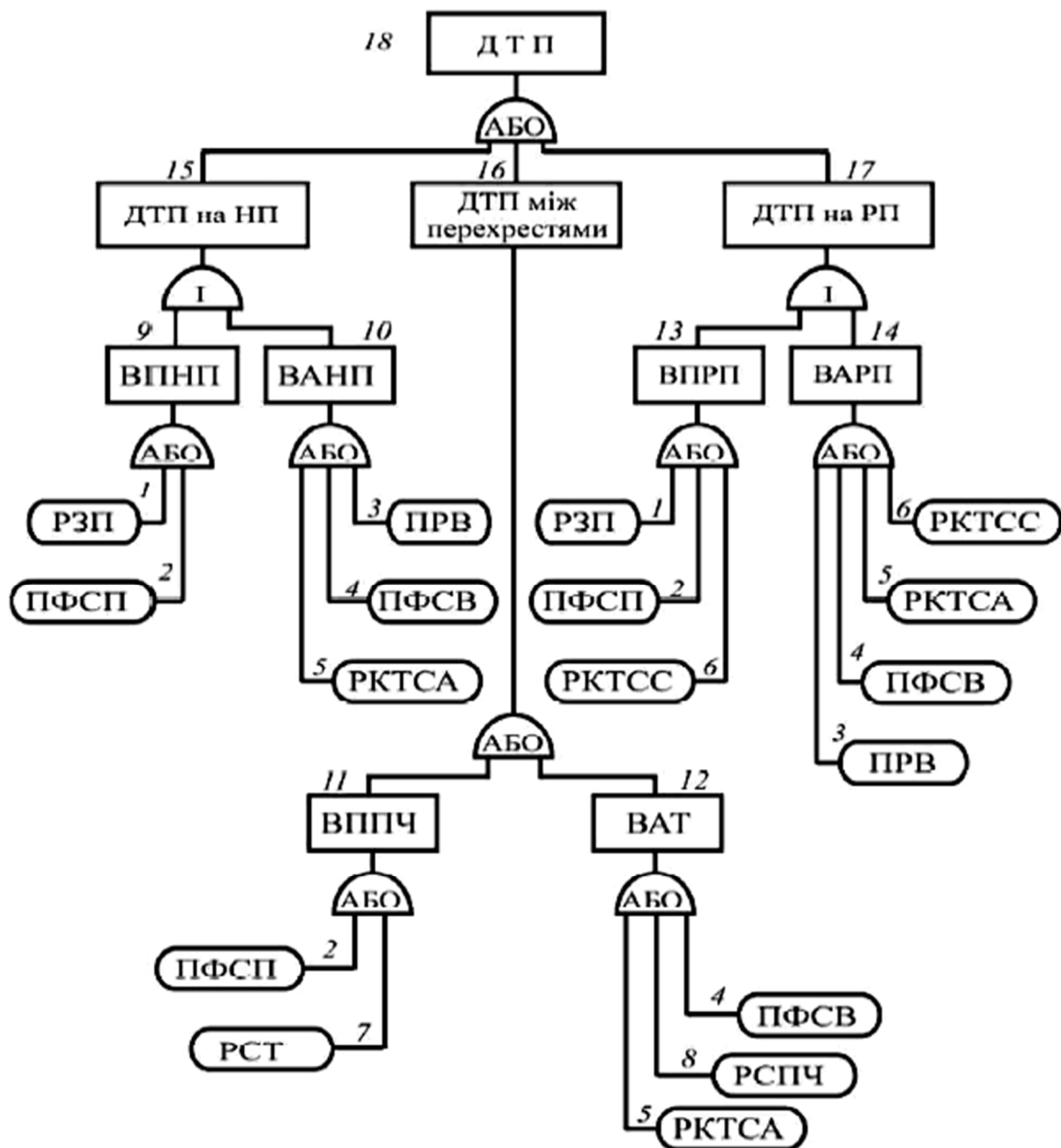


Рисунок 3.6 – Логіко-імітаційна модель дорожньо-транспортної пригоди (дерево подій і причин)

Виникнення небезпечних подій у цій моделі визначають вісім умов (їх пронумеровано згідно з позначеннями на рис. 3.6), а саме:

- 1) рівень знань пішохода (РЗП);
- 2) психофізіологічний стан пішохода (ПФСП);
- 3) професійний рівень водія (ПРВ);
- 4) психофізіологічний стан водія (ПФСВ);
- 5) рівень контролю за технічним станом автомобіля (РКТСА);
- 6) рівень контролю за технічним станом світлофора (РКТСС);
- 7) рівень стану тротуару (РСТ);
- 8) рівень стану проїзної частини (РСПЧ).

Настання наведених умов може спричинити виникнення однієї із десяти небезпечних подій (їх пронумеровано згідно з позначеннями на рис. 3.6):

9) вихід пішохода на нерегульоване перехрестя без впевненості у відсутності небезпеки для себе та інших учасників руху (ВПНП);

10) виїзд автомобіля на нерегульоване перехрестя без зменшення швидкості (ВАНП);

11) вихід пішохода на проїзну частину вулиці між перехрестями (ВППЧ);

12) виїзд автомобіля на тротуар між перехрестями (ВАТ);

13) вихід пішохода на регульоване перехрестя (ВПП);

14) виїзд автомобіля на регульоване перехрестя (ВАРП);

15) дорожньо-транспортна пригода на нерегульованому перехресті (ДТП на НП);

16) дорожньо-транспортна пригода між перехрестями (ДТП між перехрестями);

17) дорожньо-транспортна пригода на регульованому перехресті (ДТП на РП);

18) дорожньо-транспортна пригода (ДТП) - головна небезпечна подія.

Оскільки всі події та умови їхнього виникнення є випадковими, то для розрахунку ймовірності реалізації дорожньо-транспортної пригоди використовують знання з теорії ймовірності та булевої алгебри. Імовірності настання умов 1–8, за яких виникають небезпечні події, визначають емпірично або оцінюють статистичними методами. Імовірності небезпечних подій 9–18 розраховують за формулами (3.1) і (3.2) відповідно до схеми реалізації подій та настання умов, а саме:

$$P_0 = P_1 + P_2 \cdot P_1 P_2;$$

$$P_{10} = P_3 + P_4 + P_5 - (P_3 P_4 + P_3 P_5 + P_4 P_5) + P_3 P_4 P_5;$$

$$P_{11} = P_2 + P_7 - P_2 P_7;$$

$$P_{12} = P_8 + P_4 + P_5 - (P_8 P_4 + P_8 P_5 + P_4 P_5) + P_8 P_4 P_5;$$

$$P_{13} = P_1 + P_2 + P_6 - (P_1 P_2 + P_1 P_6 + P_2 P_6) + P_1 P_2 P_6;$$

$$P_{14} = P_3 + P_4 + P_5 + P_6 - (P_3 P_4 + P_3 P_5 + P_3 P_6 + P_4 P_5 + P_4 P_6 + P_5 P_6) + P_3 P_4 P_5 + P_3 P_5 P_6 + P_4 P_5 P_6 + P_3 P_4 P_6 - P_3 P_4 P_5 P_6;$$

$$P_{15} = P_0 P_{10};$$

$$P_{16} = P_{11} + P_{12} - P_{11} P_{12};$$

$$P_{17} = P_{13} P_{14};$$

$$P_{18} = P_{15} + P_{16} + P_{17} - (P_{15} P_{16} + P_{15} P_{17} + P_{16} P_{17}) + P_{15} P_{16} P_{17}.$$

На третій стадії аналізують можливі небажані наслідки та визначають можливі шляхи зменшення їхнього негативного впливу. В основу такого аналізу покладено методику порівняння затрат, спрямованих на відвернення небезпек (зменшення ризику), і вигод, здобутих від зниження рівня ризику.

3.4 Застосування марковських процесів для визначення ризику виникнення аварії на перехресті з прикладами розв'язання завдань

Згідно з даними Управління ДАІ Харківської області за 2010–2014 рр. основними причинами виникнення аварійних ситуацій, що призвели до травмування водіїв пасажирського транспорту, є причини, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні причини аварій за участю водіїв пасажирського транспорту

№ п/п	Основні причини	2010		2011		2012		2013		2014	
		Всього ДТП	Загиблих/травмованих	Всього ДТП	Загиблих/травмованих	Всього ДТП	Загиблих/травмованих	Всього ДТП	Загиблих/травмованих	Всього ДТП	Загиблих/травмованих
1	Порушення швидкісного режиму	72	1/18	62	2/7	9	2/4	8	2/0	13	1/4
2	Порушення правил маневрування	103	1/25	97	1/35	82	0/20	56	0/35	56	2/26
3	Недотримання безпечної дистанції	68	0/14	54	0/14	37	0/9	20	0/7	14	1/11
4	Порушення правил проїзду перехресть	24	1/3	15	0/8	26	0/4	8	0/7	7	0/5
5	Інші причини	7	0/6	5	0/4	15	0/2	6	0/1	0	0/2
Усього за рік		274	3/66	233	3/68	169	2/39	98	2/50	90	4/48

Травмування водія пасажирського транспорту, зокрема і зі смертельним результатом, може виникнути у разі збігу в просторі й часі принаймні двох незалежних і несумісних випадкових подій, які мають різну частоту появи і тривалість існування (рис. 3.7).

Таким чином, виникнення випадків травматизму, зокрема зі смертельними наслідками, з водіями рухомого складу на підприємствах пасажирського транспорту здебільшого відбувається у разі збігу в просторі й часі наведених вище подій.

Серед найнебезпечніших ситуацій також можна виділити перетин перехрестя людиною при одночасному проїзду перехрестя транспортним засобом з порушенням швидкісного режиму.

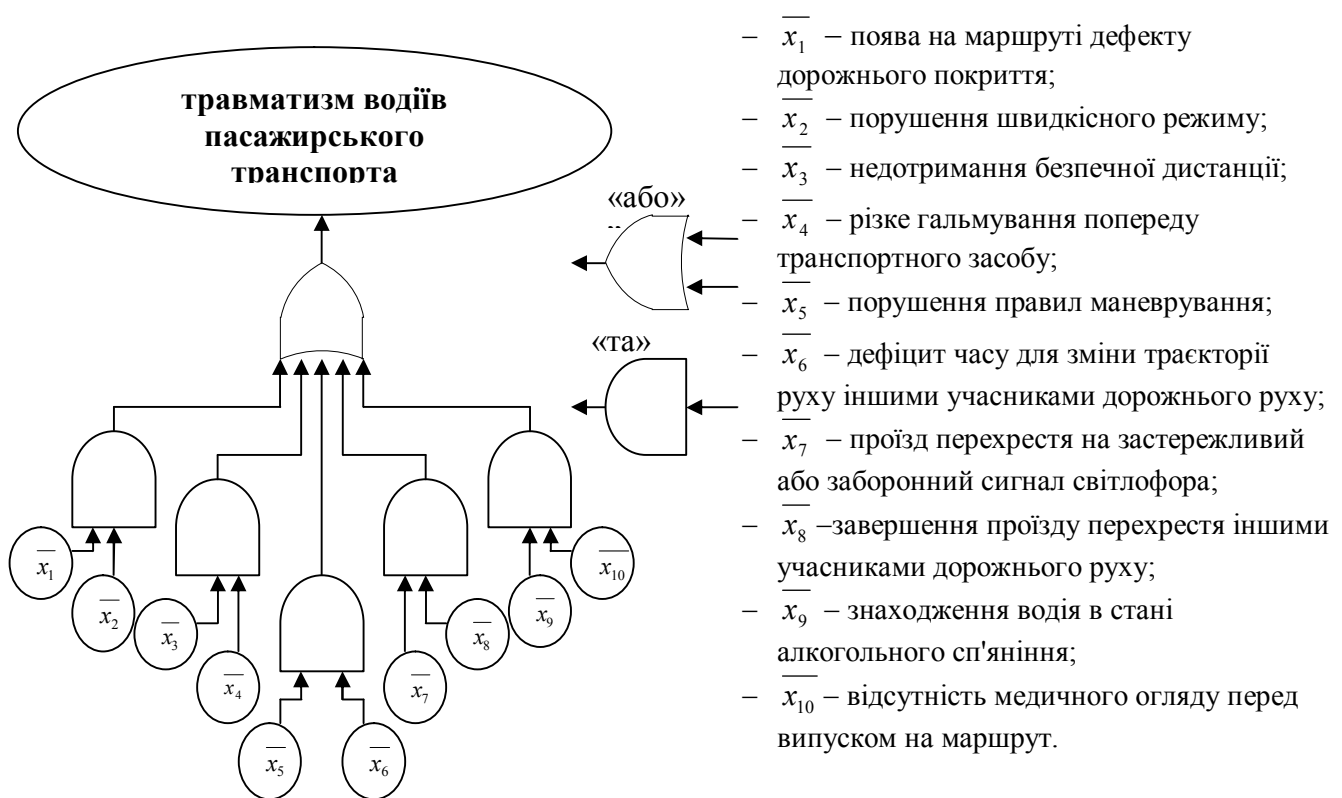


Рисунок 3.7 – Причинно-наслідковий зв'язок виникнення випадків травматизму з водіями пасажирського транспорту

Сукупність процесів $\xi(t)$ і $\alpha(t)$ можна розглядати як один регулярний однорідний марковський процес із чотирма дискретними станами і безперервним часом (рис. 3.7).

У будь-який момент часу система може перебувати в одному з чотирьох станів:

$$E\{e_1(0,0), e_2(1,0), e_3(0,1), e_4(1,1)\},$$

де $e_1(0,0)$ – людина переходить перехрестя без порушень правил дорожнього руху, транспортний засіб рухається без перевищення швидкості;

$e_2(1,0)$ – людина переходить перехрестя з порушенням правил дорожнього руху, транспортний засіб рухається без перевищення швидкості;

$e_3(0,1)$ – людина переходить перехрестя без порушень правил дорожнього руху, транспортний засіб рухається з перевищенням швидкості;

$e_4(1,1)$ – людина переходить перехрестя з порушенням правил дорожнього руху, транспортний засіб рухається з підвищеною швидкістю.

При випадковому попаданні процесу в поглинаюче стан $e_4(1,1)$ відбувається несприятлива подія, зокрема зі смертельним наслідком.

Можлива реалізація регулярного однорідного марківського процесу з чотирма дискретними станами і безперервним часом (рис. 3.8).

Позначимо через ζ_k , $k = \overline{1,3}$ час перебування процесу $\chi(t)$ у стані e_k . Для регулярного однорідного марківського процесу $\chi(t)$ випадкові величини ζ_k мають показову функцію розподілу ймовірностей [98]:

$$F_{\zeta}(t) = P\{\zeta < t\} = 1 - \exp[-(\lambda_{ii} \cdot t)] \quad (3.3)$$

Позначимо через $P_{ii}(\Delta t)$ імовірність того, що система за малий проміжок часу Δt залишиться у стані e_i , $i = \overline{1,4}$ та через $P_{ij}(\Delta t)$ – імовірність того, що система за час Δt перейде із стану e_i у стан e_j , $j = \overline{1,4}$.

Ці ймовірності переходів визначаються наступним чином [99–100]:

$$P_{ii}(\Delta t) = P[\chi(t + \Delta t) = e_i / \chi(t) = e_i] = P\left\{e_i \xrightarrow{\Delta t} e_i\right\} = 1 - \lambda_{ii} \cdot \Delta t + o(\Delta t), \quad (3.4)$$

$$P_{ij}(\Delta t) = P[\chi(t + \Delta t) = e_j / \chi(t) = e_i] = P\left\{e_i \xrightarrow{\Delta t} e_j\right\} = \lambda_{ij} \cdot \Delta t + o(\Delta t). \quad (3.5)$$

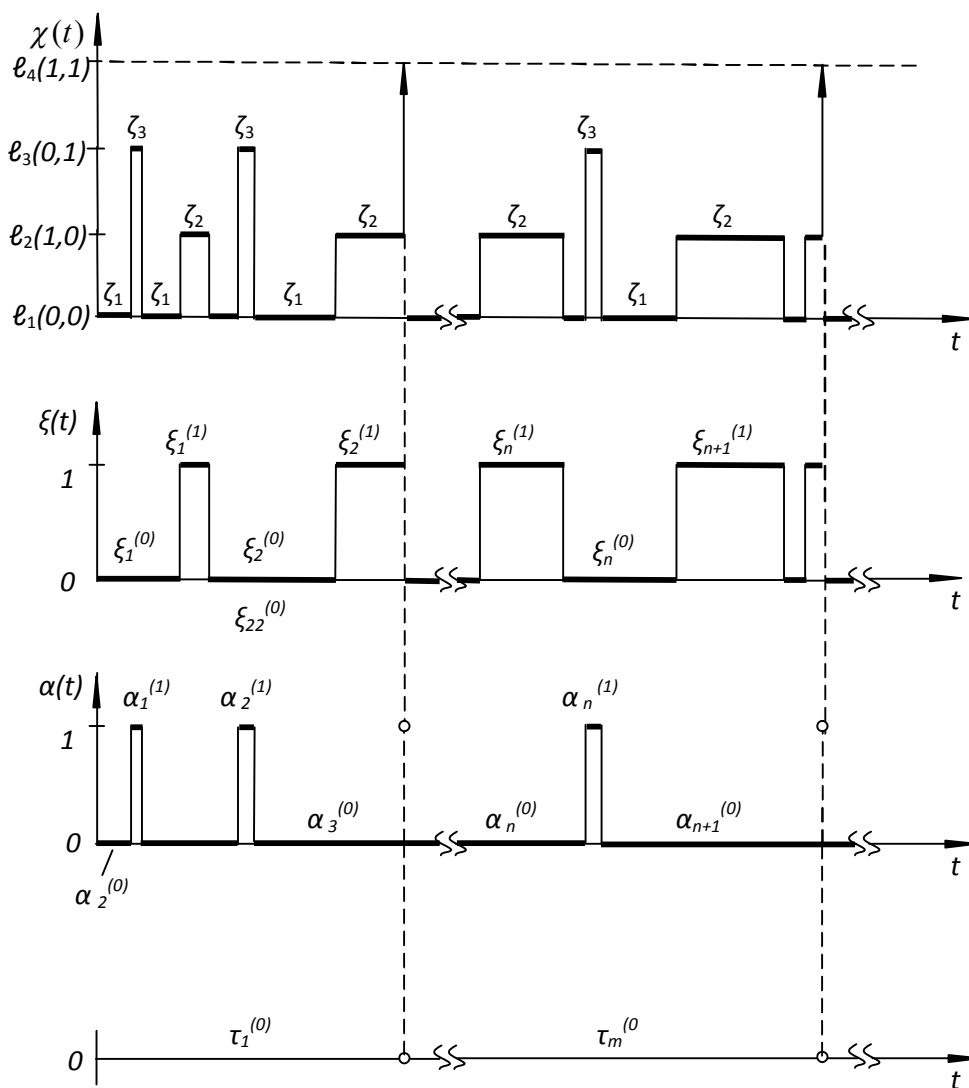


Рисунок 3.8 – Можлива реалізація процесу формування випадку загибелі (травмування) людини на перехресті у разі випадкового попадання її в «небезпечну зону»:

- $e_1(0,0)$; $e_2(1,0)$; $e_3(0,1)$; $e_4(1,1)$ – стани системи «людина – середовище»;
- ζ_k – час перебування системи «людина – небезпечна середовище» в кожному з можливих станів;
- $\xi_i^{(0)}$; $\xi_i^{(1)}$ – випадкові інтервали часу між появами людини на перехресті в «небезпечній» зоні і тривалість перебування в ній відповідно;
- $\alpha_i^{(0)}$; $\alpha_i^{(1)}$ – випадкові інтервали часу між появами небезпечної для людини події та тривалості її існування;
- $\tau_1^{(0)}$; $\tau_m^{(0)}$ – час до загибелі (травмування) людини

У формулі (3.5) величина λ_j враховує із точністю до членів другого порядку малості, що за час Δt відбудеться перехід системи зі стану e_i в інший стан e_j . У формулі (3.4) величина $1 - \lambda_{ii} \cdot \Delta t$ враховує із точністю до членів

другого порядку малості, що за час Δt відбудеться перехід системи із стану e_i в інший стан e_j , тобто процес залишиться незмінним e_i .

Отже, регулярний однорідний марковський процес можна задати за допомогою показового розподілу виду (3.3) і матриці ймовірностей переходів $P(\Delta t) = [P_{ij}(\Delta t)]$.

Середній час до настання несприятливої події τ_1 , дисперсію D_1 і ймовірність появи летального результату або травми людини з плином часу можна визначити з систем рівнянь, записаних у матричній формі [98]:

$$\tau = N \cdot \xi; \quad (3.6)$$

$$D = (2 \cdot N - I) \cdot \tau - \tau^2; \quad (3.7)$$

$$\dot{P}(t) = P(t) \cdot A, \quad (3.8)$$

де I – одинична матриця;

Q – матриця, отримана з матриці інтенсивностей переходів P_k шляхом виключення поглинаючого стану (рядка, що складається з елементів 0,0, ..., 1 і відповідного стовпця);

ξ – вектор-стовпець, всі елементи якого дорівнюють 1;

$\tau = [\tau_i]_{i=1}^{2^k-1}$ – вектор-стовпець,

k – число процесів, що беруть участь у формуванні аварії;

$\dot{P}(t) = \left[\dot{P}_i(t) \right]_{i=1}^{2^k-1}$ – вектор-рядок;

$P(t) = [P_i(t)]_{i=1}^{2^k-1}$ – вектор-рядок;

$N = (I - Q)^{-1}$ – фундаментальна матриця;

$A = (Q - I)$ – матриця, отримана в результаті різниці матриці Q і одиничної;

$\tau^2 = [\tau_i^2]_{i=1}^{2^k-1}$ – вектор-стовпець;

$\lambda_i = 1/\bar{d}_i$; \bar{d}_i – середній інтервал часу знаходження елемента системи в безпечному стані;

$\mu_i = 1/d_i$; d_i – середня тривалість знаходження елемента системи в небезпечному стані.

Система лінійних диференціальних рівнянь (3.8) вирішується при наступних початкових умовах: $P_1(0)=1$; $P_2(0)=P_k(0)=0$.

Функцію розподілу інтервалів часу між наїздом транспортного засобу на людину, що опинилась на перехресті, знаходимо наступним чином:

$$F_1(t) = 1 - \sum_{i=1}^{2^k-1} P_i(t). \quad (3.9)$$

У тому випадку, якщо дотримується умова

$$\tau_1 = \sqrt{D_1}, \quad (3.10)$$

тоді ймовірність появи несприятливої події з плином часу можна визначити за допомогою формули:

$$F_1(t) = 1 - e^{H_1 \cdot t}, \quad (3.11)$$

де $H_1 = 1/\tau_1$.

Використовуючи формули (3.4) і (3.5), ймовірності переходів системи «людина-середовище» за час Δt для наведеної вище задачі визначається наступним чином:

$$P_{11}(\Delta t) = P[\chi(t+\Delta t) = e_1(0,0) / \chi(t) = e_1(0,0)] = P\left\{e_1(0,0) \xrightarrow{\Delta t} e_1(0,0)\right\} = P_1(0 \xrightarrow{\Delta t} 0) \cdot P_2(0 \xrightarrow{\Delta t} 0) = \quad (3.12)$$

$$= e^{-\lambda_1 \cdot \Delta t} \cdot e^{-\lambda_2 \cdot \Delta t} = [1 - \lambda_1 \cdot \Delta t + o(\Delta t)] \cdot [1 - \lambda_2 \cdot \Delta t + o(\Delta t)] = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2) \cdot \Delta t + o(\Delta t);$$

$$P_{12}(\Delta t) = P[\chi(t+\Delta t) = e_2(1,0) / \chi(t) = e_1(0,0)] = P\left\{e_1(0,0) \xrightarrow{\Delta t} e_2(1,0)\right\} = P_1(0 \xrightarrow{\Delta t} 1) \cdot P_2(0 \xrightarrow{\Delta t} 0) =$$

$$= (1 - e^{-\lambda_1 \cdot \Delta t}) \cdot e^{-\lambda_2 \cdot \Delta t} = [\lambda_1 \cdot \Delta t + o(\Delta t)] \cdot [1 - \lambda_2 \cdot \Delta t + o(\Delta t)] = \lambda_1 \cdot \Delta t + o(\Delta t).$$

Аналогічним чином визначаються і всі інші ймовірності переходів за час Δt :

$$P_{13}(\Delta t) = P\left\{e_1(0,0) \xrightarrow{\Delta t} e_3(0,1)\right\} = \lambda_2 \cdot \Delta t + o(\Delta t); \quad P_{14}(\Delta t) = P\left\{e_1(0,0) \xrightarrow{\Delta t} e_4(1,1)\right\} = o(\Delta t);$$

$$P_{21}(\Delta t) = P\left\{e_2(1,0) \xrightarrow{\Delta t} e_1(0,0)\right\} = \mu_1 \cdot \Delta t + o(\Delta t);$$

$$P_{22}(\Delta t) = P\left\{e_2(1,0) \xrightarrow{\Delta t} e_2(1,0)\right\} = 1 - (\mu_1 + \lambda_2) \cdot \Delta t + o(\Delta t);$$

$$P_{23}(\Delta t) = P\left\{e_2(1,0) \xrightarrow{\Delta t} e_3(0,1)\right\} = o(\Delta t); \quad P_{24}(\Delta t) = P\left\{e_2(1,0) \xrightarrow{\Delta t} e_4(1,1)\right\} = \lambda_2 \cdot \Delta t + o(\Delta t);$$

$$P_{31}(\Delta t) = P\left\{e_3(0,1) \xrightarrow{\Delta t} e_1(0,0)\right\} = \mu_2 \cdot \Delta t + o(\Delta t); \quad P_{32}(\Delta t) = P\left\{e_3(0,1) \xrightarrow{\Delta t} e_2(1,0)\right\} = o(\Delta t);$$

$$P_{33}(\Delta t) = P\left\{e_3(0,1) \xrightarrow{\Delta t} e_3(0,1)\right\} = 1 - (\lambda_1 + \mu_2) \cdot \Delta t + o(\Delta t); \quad P_{34}(\Delta t) = P\left\{e_3(0,1) \xrightarrow{\Delta t} e_4(1,1)\right\} = \lambda_1 + o(\Delta t);$$

$$P_{41}(\Delta t) = P\left\{e_4(1,1) \xrightarrow{\Delta t} e_1(0,0)\right\} = 0; \quad P_{42}(\Delta t) = P\left\{e_4(1,1) \xrightarrow{\Delta t} e_2(1,0)\right\} = 0;$$

$$P_{43}(\Delta t) = P\left\{e_4(1,1) \xrightarrow{\Delta t} e_3(0,1)\right\} = 0; \quad P_{44}(\Delta t) = P\left\{e_4(1,1) \xrightarrow{\Delta t} e_4(1,1)\right\} = 1.$$

Для наведеної вище задачі стан $e_4(1,1)$ є поглинальним [102], де $o(\Delta t)$ означає, що за час Δt мало ймовірно здійснити два переходу з одного стану в інший [100]:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{o(\Delta t)}{\Delta t} = 0.$$

Використовуючи отримані ймовірності переходів (3.12), матриця ймовірностей переходів прийме вигляд:

$$P(\Delta t) = \begin{pmatrix} 1 - (\lambda_1 + \lambda_2) \cdot \Delta t + o(\Delta t) & \lambda_1 \cdot \Delta t + o(\Delta t) & \lambda_2 \cdot \Delta t + o(\Delta t) & o(\Delta t) \\ \mu_1 \cdot \Delta t + o(\Delta t) & 1 - (\mu_1 + \lambda_2) \cdot \Delta t + o(\Delta t) & o(\Delta t) & \lambda_2 \cdot \Delta t + o(\Delta t) \\ \mu_2 \cdot \Delta t + o(\Delta t) & o(\Delta t) & 1 - (\lambda_1 + \mu_2) \cdot \Delta t + o(\Delta t) & \lambda_1 \cdot \Delta t + o(\Delta t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

Матриця $Q(\Delta t)$ отримується з матриці $P(\Delta t)$ (3.13) шляхом виключення поглинального стану (рядка, що складається з елементів 0, 0, ... 1 і відповідного стовпця):

$$Q(\Delta t) = \begin{pmatrix} 1 - (\lambda_1 + \lambda_2) \cdot \Delta t + o(\Delta t) & \lambda_1 \cdot \Delta t + o(\Delta t) & \lambda_2 \cdot \Delta t + o(\Delta t) \\ \mu_1 \cdot \Delta t + o(\Delta t) & 1 - (\mu_1 + \lambda_2) \cdot \Delta t + o(\Delta t) & o(\Delta t) \\ \mu_2 \cdot \Delta t + o(\Delta t) & o(\Delta t) & 1 - (\lambda_1 + \mu_2) \cdot \Delta t + o(\Delta t) \end{pmatrix}. \quad (3.14)$$

Використовуючи матрицю $P(\Delta t)$, визначається матриця A :

$$A = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q(\Delta t) - I}{\Delta t}. \quad (3.15)$$

Підставляючи матрицю (3.14) в формулу (3.15), отримаємо:

$$A = \begin{pmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & \lambda_2 \\ \mu_1 & -(\mu_1 + \lambda_2) & 0 \\ \mu_2 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) \end{pmatrix}. \quad (3.16)$$

Матрицю N знаходять наступним чином :

$$N = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{I - Q(\Delta t)}{\Delta t} \right)^{-1}, \quad (3.17)$$

тоді, підставивши (3.12) в (3.15), отримаємо:

$$N = \begin{pmatrix} \lambda_1 + \lambda_2 & -\lambda_1 & -\lambda_2 \\ -\mu_1 & \mu_1 + \lambda_2 & 0 \\ -\mu_2 & 0 & \lambda_1 + \mu_2 \end{pmatrix}, \quad (3.18)$$

Підставив матрицю N (3.18) у систему рівнянь (3.4), отримаємо:

$$\begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_1 + \lambda_2 & -\lambda_1 & -\lambda_2 \\ -\mu_1 & \mu_1 + \lambda_2 & 0 \\ -\mu_2 & 0 & \lambda_1 + \mu_2 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3.19)$$

Систему рівнянь (3.19) представимо у вигляді:

$$\begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} \cdot \begin{pmatrix} (\mu_1 + \lambda_2) \cdot (\lambda_1 + \mu_2) & \lambda_1 \cdot (\lambda_1 + \mu_2) & \lambda_2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2) \\ \mu_1 \cdot (\lambda_1 + \mu_2) & \lambda_1 \cdot (\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_2) & \lambda_2 \cdot \mu_1 \\ \mu_2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2) & \lambda_1 \cdot \lambda_2 & \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3.20)$$

З системи рівнянь (3.20) знаходимо:

$$\tau_1 = \frac{(\mu_1 + \lambda_2) \cdot (\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_1 \cdot (\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}; \quad (3.21)$$

$$\tau_2 = \frac{\mu_1 \cdot (\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_1 \cdot (\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_2) + \lambda_2 \cdot \mu_1}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}; \quad (3.22)$$

$$\tau_3 = \frac{\mu_2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2) + \lambda_1 \cdot \mu_2 + \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}, \quad (3.23)$$

де τ_1, τ_2, τ_3 – середній час до появи летального результату, якщо в початковий момент часу система «людина-середовище» перебувала в стані $e_1(0,0)$, $e_2(1,0)$, $e_3(0,1)$ відповідно.

У тому разі, якщо виконуються умови:

$$\lambda_i \leq 100 \cdot \mu_i, \quad i=1,2, \quad (3.24)$$

формули (3.21), (3.22), (3.23) приймуть вид:

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 \cong \frac{\mu_1 \cdot \mu_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\mu_1 + \mu_2)}, \quad (3.25)$$

де $\lambda_1 = 1/\bar{d}_1$; \bar{d}_1 – середній інтервал часу між появою людини в «небезпечній» зоні перехрестя;

$\lambda_2 = 1/\bar{d}_2$; \bar{d}_2 – середній інтервал часу між появою на перехресті автомобіля, що рухається з перевищенням швидкості;

$\mu_1 = 1/d_1$; d_1 – середня тривалість перебування людини в «небезпечній» зоні перехрестя;

$\mu_2 = 1/d_2$; d_2 – середня тривалість перебування на перехресті автомобіля, що рухається з перевищенням швидкості.

Отже, формулу (3.26) представимо у вигляді:

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 \cong \frac{\bar{d}_1 \cdot \bar{d}_2}{d_1 + d_2}. \quad (3.26)$$

Дисперсію часу до настання аварії, якщо в початковий момент часу система «працівник – середовище» перебувала в стані $e_I(0,0)$, визначається за допомогою системи алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_1 + \lambda_2 & -\lambda_1 & -\lambda_2 \\ -\mu_1 & \mu_1 + \lambda_2 & 0 \\ -\mu_2 & 0 & \lambda_1 + \mu_2 \end{bmatrix}^{-1} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \tau_1^2 \\ \tau_2^2 \\ \tau_3^2 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Із системи рівнянь (3.25) знаходимо:

$$D_1 = \left[\frac{2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2) \cdot (\lambda_1 + \mu_2)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_1 + \left[\frac{2 \cdot (\lambda_1 + \mu_2)}{\lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_2 + \left[\frac{2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_3 - \tau_1^2; \quad (3.28)$$

$$D_2 = \left[\frac{2 \cdot \mu_1 \cdot (\lambda_1 + \mu_2)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_1 + \left[\frac{2 \cdot (\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_2)}{\lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_2 + \left[\frac{2 \cdot \mu_1}{\lambda_1 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_3 - \tau_2^2; \quad (3.29)$$

$$D_3 = \left[\frac{2 \cdot \mu_2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_1 + \left[\frac{2 \cdot \mu_2}{\lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_2 + \left[\frac{2 \cdot (\lambda_1 + \mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_3 - \tau_3^2 \quad (3.30)$$

де D_2 , D_3 – дисперсія часу до настання першої аварії, якщо в початковий момент часу система перебувала в стані $e_2(1,0)$, $e_3(0,1)$ відповідно.

У тому разі, якщо виконується умова (3.24), тоді:

$$D_1 = D_2 = D_3 \cong \frac{\mu_1^2 \cdot \mu_2^2}{\lambda_1^2 \cdot \lambda_2^2 \cdot (\mu_1^2 + 2\mu_1 \cdot \mu_2 + \mu_2^2)}. \quad (3.31)$$

У всіх випадках, якщо при розрахунках отримаємо, що

$$\tau_1 \cong \sqrt{D_1}, \quad (3.32)$$

імовірність виникнення аварії протягом часу t можна оцінити за допомогою формули:

$$F_1(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{1}{\tau_1}\right) \cdot t\right]. \quad (3.33)$$

Наведені вище формули дозволяють оцінити ризик аварії за участю пішохода, що випадково потрапив у «небезпечну зону» перехрестя.

У тому разі, якщо співвідношення (3.30) не виконується, тоді ймовірність виникнення аварії можна знайти, користуючись формулою:

$$F(t) = 1 - [P_1(t) + P_2(t) + P_3(t)], \quad (3.34)$$

де $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ – імовірність знаходження системи «пішохід-середовище» протягом часу t в станах $e_1(0,0)$; $e_2(1,0)$; $e_3(0,1)$ відповідно.

Імовірності $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ знаходяться з системи лінійних диференціальних рівнянь, записаних у матричній формі:

$$\dot{P}(t) = P(t) \cdot A, \quad (3.35)$$

$$\text{де } \dot{P}(t) = \begin{vmatrix} \dot{P}_1(t) & \dot{P}_2(t) & \dot{P}_3(t) \end{vmatrix}, \quad (3.36)$$

$$P(t) = \begin{vmatrix} P_1(t) & P_2(t) & P_3(t) \end{vmatrix}, \quad (3.37)$$

$$A = \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & \lambda_2 \\ \mu_1 & -(\mu_1 + \lambda_2) & 0 \\ \mu_2 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) \end{bmatrix}. \quad (3.38)$$

Підставивши матриці (3.36) – (3.38) в систему рівнянь (3.35), отримаємо:

$$\begin{bmatrix} \dot{P}_1(t) \\ \dot{P}_2(t) \\ \dot{P}_3(t) \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & \lambda_2 \\ \mu_1 & -(\mu_1 + \lambda_2) & 0 \\ \mu_2 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) \end{bmatrix}. \quad (3.39)$$

Система лінійних диференціальних рівнянь (3.39) вирішується за початкових умов: $P_1(0)=1; P_2(0)=0; P_3(0)=0$.

Використовуючи перетворення Лапласа систему лінійних диференціальних рівнянь (3.39), подамо у вигляді системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$P(S) = P(0) \cdot [S \cdot I - N]^{-1}. \quad (3.40)$$

Систему рівнянь (3.38) представимо у вигляді:

$$\begin{bmatrix} P_1(S) \\ P_2(S) \\ P_3(S) \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \cdot \left[\begin{pmatrix} S & 0 & 0 \\ 0 & S & 0 \\ 0 & 0 & S \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & \lambda_2 \\ \mu_1 & -(\mu_1 + \lambda_2) & 0 \\ \mu_2 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) \end{pmatrix} \right]^{-1} \quad (3.41)$$

Запишемо систему алгебраїчних рівнянь (3.41) у вигляді:

$$\begin{bmatrix} P_1(S) \\ P_2(S) \\ P_3(S) \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} S + \lambda_1 + \lambda_2 & -\lambda_1 & -\lambda_2 \\ -\mu_1 & S + \mu_1 + \lambda_2 & 0 \\ -\mu_2 & 0 & S + \lambda_1 + \mu_2 \end{bmatrix}^{-1}. \quad (3.42)$$

З системи рівнянь (3.42) знаходимо:

$$P_1(S) = \frac{(S + \lambda_1 + \mu_2) \cdot (S + \mu_1 + \mu_2)}{S^3 + a \cdot S^2 + b \cdot S + c}; \quad (3.43)$$

$$P_2(S) = \frac{\lambda_1 \cdot (S + \lambda_1 + \mu_2)}{S^3 + a \cdot S^2 + b \cdot S + c}; \quad (3.44)$$

$$P_3(S) = \frac{\lambda_2 \cdot (S + \mu_1 + \lambda_2)}{S^3 + a \cdot S^2 + b \cdot S + c}, \quad (3.45)$$

де $a = 2 \cdot \lambda_1 + \mu_1 + 2 \cdot \lambda_2 + \mu_2$;
 $b = \lambda_1 \cdot \lambda_2 + (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)$;
 $c = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)$.

Формулу (3.32) представимо в вигляді:

$$F(t) = Z^{-1} \cdot [P_1(S) + P_2(S) + P_3(S)]. \quad (3.46)$$

Підставимо у формулу (3.44) формули (3.41–3.43), отримаємо:

$$F(t) = 1 - Z^{-1} \cdot \left\{ \frac{S^2 + a \cdot S + b_1}{S^3 + a \cdot S^2 + b \cdot S + c} \right\}, \quad (3.47)$$

де $b_1 = 2 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 + b$.

Для отримання зворотного перетворення Лапласа скористаємося формулою:

$$R(t) = \sum_{k=1}^n \frac{G(S_k)}{Z'(S_k)} \cdot e^{S_k \cdot t}, \quad (3.48)$$

де S_k – корені кубічного рівняння.

Формулу (3.47), використовуючи перетворення (3.48), подамо у вигляді:

$$F(t) = 1 - \frac{G(S_1)}{Z'(S_1)} \cdot e^{S_1 \cdot t} - \frac{G(S_2)}{Z'(S_2)} \cdot e^{S_2 \cdot t} - \frac{G(S_3)}{Z'(S_3)} \cdot e^{S_3 \cdot t}, \quad (3.49)$$

$$\text{де } Z(S) = S^3 + a \cdot S^2 + b \cdot S + c = 0; \quad (3.50)$$

$$G(S) = S^2 + a \cdot S + b_1. \quad (3.51)$$

Вирішуючи кубічне рівняння (3.50) відомими способами, знаходимо S_1, S_2, S_3 . Знаючи значення коренів S_1, S_2, S_3 , знаходимо:

$$Z'(S) = (S^3 + a \cdot S^2 + b \cdot S + c)' = 3S^2 + 2 \cdot a \cdot S + b; \quad (3.52)$$

$$Z'(S_1) = 3S_1^2 + 2 \cdot a \cdot S_1 + b; \quad Z'(S_2) = 3S_2^2 + 2 \cdot a \cdot S_2 + b; \quad Z'(S_3) = 3S_3^2 + 2 \cdot a \cdot S_3 + b. \quad (3.53)$$

Підставивши отримані вирази (3.53) у формулу (3.49), отримаємо:

$$F(t) = 1 - \frac{S_1^2 + a \cdot S_1 + b_1}{3 \cdot S_1^2 + 2 \cdot a \cdot S_1 + b} \cdot e^{-S_1 \cdot t} + \frac{S_2^2 + a \cdot S_2 + b_1}{3 \cdot S_2^2 + 2 \cdot a \cdot S_2 + b} \cdot e^{-S_2 \cdot t} + \frac{S_3^2 + a \cdot S_3 + b_1}{3 \cdot S_3^2 + 2 \cdot a \cdot S_3 + b} \cdot e^{-S_3 \cdot t} \quad (3.54)$$

Отримані в роботі формули та системи рівнянь дозволяють оцінити ризик, якому піддається працівник, що випадково потрапив в «небезпечну зону».

Як було зазначено вище, несприятливими подіями з найбільшою ймовірністю виникнення ризику виробничого травматизму, є «Пригода на транспорті» за участю водія пасажирського транспорту

Приклад 1. Розглянемо ділянку дороги завдовжки 1 км, на якому фіксувалися за допомогою реєстратора перевищення швидкості одиницями пасажирського транспорту (автобус, маршрутне таксі). У цьому разі людина фіксувала швидкість на початку розглянутої ділянки дороги, а друга – в її кінці. Якщо середня швидкість руху по ділянці перевищувала 60 км/год, тоді цей транспортний засіб вважався порушником.

Середній інтервал часу між транспортними засобами, що їдуть з порушенням швидкісного режиму, становить $\bar{d}_1 = 2,4$ год, середній час проходження ділянки дороги з дефектом покриття – $d_1 = 3,6$ с.

Середній інтервал часу між появою на аналізованій ділянці дороги дефекту дорожнього покриття становить $\bar{d}_2 = 2730$ год, а середній час існування дефекту – $d_2 = 8$ ч.

Експериментально встановлено, що на цій ділянці маршруту в середньому через 3420 годин відбувається одна велика аварія, в якій отримує травму водій пасажирського транспорту.

Визначити ймовірність попадання транспортного засобу в аварійну ситуацію протягом року на цій ділянці дороги. Визначити середній інтервал часу між попаданням транспортного засобу в аварійну ситуацію.

Припущення: а) у разі, якщо автомобіль їде по цій ділянці дороги з перевищенням швидкості, водій цього транспортного засобу не встигає зреагувати на дефект дорожнього покриття на трасі, що раптово виник;

б) ділянка з дефектом дорожнього покриття виявляється з допомогою дорожньо-транспортного патруля, який повідомляє про пошкодження дороги вищестоящому начальнику, а той, зі свого боку, викликає ремонтні служби, і ушкоджену ділянку дороги відновлюють. Використовуючи формулу (3.19), знаходимо:

$$\tau_1 = \frac{(\mu_1 + \lambda_2) \cdot (\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_1 \cdot (\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)},$$

$$\text{де } \lambda_1 = 1/d_1 = 1/2,4 = 0,42 \text{ год}^{-1};$$

$$\lambda_2 = 1/d_2 = 1/2730 = 3,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1};$$

$$\mu_1 = 1/d_1 = 60 \cdot 60 / 3,6 = 1000 \text{ год}^{-1};$$

$$\mu_2 = 1/8 = 0,125 \text{ год}^{-1}.$$

Підставляючи значення у формулу (3.19), знаходимо:

$$\tau_1 = \frac{(1000 + 3,7 \cdot 10^{-4}) \cdot (0,42 + 0,125) + 0,42 \cdot (0,42 + 0,125) + 3,7 \cdot 10^{-4} \cdot (1000 + 3,7 \cdot 10^{-4})}{0,42 \cdot 3,7 \cdot 10^{-4} \cdot (0,42 + 3,7 \cdot 10^{-4} + 1000 + 0,125)} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ год}.$$

Користуючись формулою (3.31), знаходимо:

$$F_1(8760) = 1 - \exp\left[-\frac{8760}{3500}\right] = 0,918.$$

У разі, якщо пошкодження, що виникнули, на дорозі, не були усунути, тоді середній час до першої аварії визначимо за допомогою формули (3.19). За умови, що $\mu_2 = 0$, тоді:

$$\tau_1^* = \frac{\lambda_1 \cdot (\mu_1 + \lambda_2) + \lambda_1^2 + \lambda_2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)}.$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$\tau_1^* = \frac{0,42 \cdot (1000 + 3,7 \cdot 10^{-4}) + 0,42^2 + 3,7 \cdot 10^{-4} \cdot (1000 + 3,7 \cdot 10^{-4})}{0,42 \cdot 3,7 \cdot 10^{-4} \cdot (0,42 + 3,7 \cdot 10^{-4} + 1000)} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ год.}$$

$$F_1^*(8760) = 1 - \exp\left[-\frac{8760}{2700}\right] = 0,96.$$

У разі, якщо не ремонтувати аварійну ділянку дороги, ризик для водія транспортного засобу потрапити в «яму» протягом року збільшиться в 2 рази, тобто:

$$K = \frac{1 - F(8760)}{1 - F^*(8760)} = \frac{1 - 0,96}{1 - 0,92} = 2 \text{ рази.}$$

На рисунку 3.8 наведено графік зміни частоти появи аварійних ситуацій $H_1 = 1/\tau_1$ год⁻¹. При зміні середнього часу появи транспортних засобів, які їдуть із підвищеною швидкістю по цій ділянці траси \bar{d}_1 , а також у разі зміни середнього часу проходження транспортним засобом «небезпечної» ділянки з дефектом дорожнього покриття \bar{d}_2 .

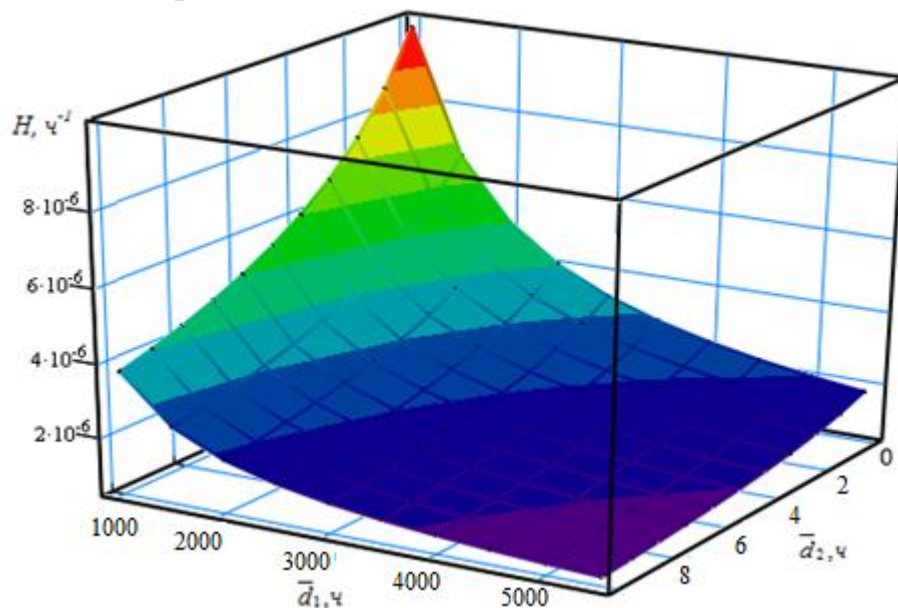


Рисунок 3.8 – Інтенсивність появи аварії на дорозі в залежності від зміни \bar{d}_1 и \bar{d}_2

Приклад 2. Визначимо ймовірність попадання людини в аварію протягом часу t при порушенні нею правил безпеки (перетин автомобільної траси в недозволеному місці) і порушення водієм транспортного засобу швидкісного режиму, середній час τ_1 і дисперсію D_1 до зіткнення транспортного засобу з людиною.

Використовуючи вихідні дані прикладу, знаходимо:

$$\tau_1 = 5\,787 \text{ год.}, D_1 = 33\,489\,583 \text{ год}^2, \text{ тобто} \\ \tau_1 \cong \sqrt{D_1},$$

тоді, використовуючи (7), знаходимо:

$$F_1(8760) = 1 - e^{-\frac{1}{5787} \cdot 8760} = 0,78.$$

Кількість несприятливих подій за одиницю часу на аналізованій ділянці дороги:

$$H_1 = \frac{1}{\tau_1} = \frac{1}{5787} = 1,73 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч} = 1,95 \text{ 1/год.}$$

На рисунку 3.9 наведено графік зміни частоти появи аварій на дорозі залежно від зміни \bar{d}_1 и \bar{d}_2 .

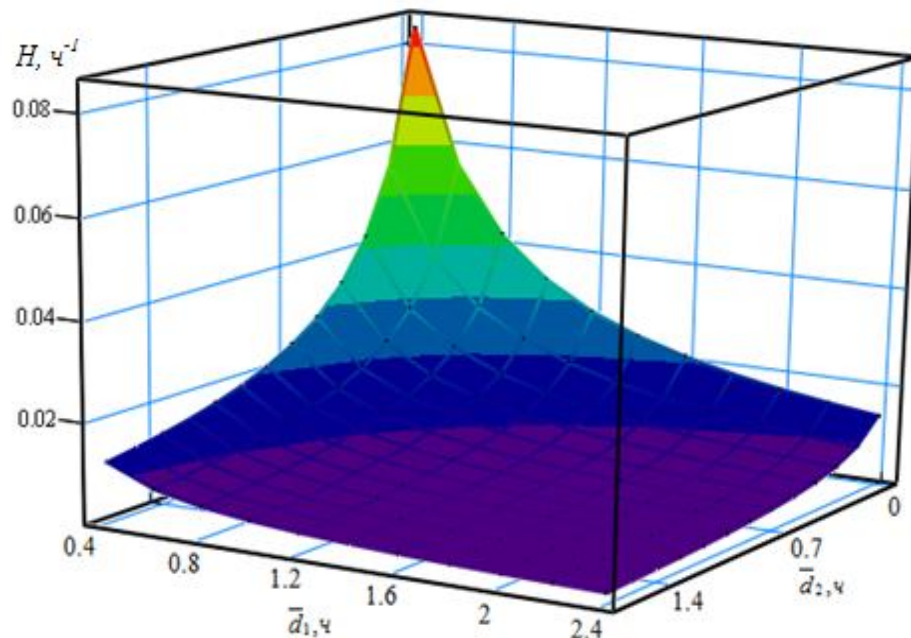


Рисунок 3.9 – Інтенсивність появи аварій на дорозі в залежності від зміни \bar{d}_1 и \bar{d}_2

Рівність $H_0 \cong H_1$ підтверджує гіпотезу про те, що аналізовані процеси $\xi(t)$ і $\alpha(t)$ не суперечать регулярному однорідному марківському процесу з дискретною кількістю станів і безперервним часом.

Отже, наведені вище приклади дають можливість враховувати не тільки статистичні дані щодо кількості ДТП та травмування людей на дорогах, а і розраховувати кількісні показники ризику, враховуючи дискретні та безперервні стани транспортних систем.

Контрольні питання

1. Що таке ідентифікація небезпек?
2. Як проводиться ідентифікація небезпек?
3. З яких основних елементів складається ризик?
4. Рішення яких питань вимагає організація процесу ідентифікації ризиків?
5. Наведіть приклад описання надзвичайної події як дискретної випадкової величини.
6. Наведіть приклад описання надзвичайної події як неперервної випадкової величини.
7. З яких стадій складається моделювання ризиків ДТП?
8. Наведіть приклад логіко-імітаційної моделі дорожньо-транспортної пригоди.
9. Для чого застосовують марковські процеси при визначенні ризику аварій на дорозі?
10. Опишіть причинно-наслідковий зв'язок виникнення випадків травматизму з водіями пасажирського транспорту.

4 УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ

4.1 Управління ризиком як елемент ризик-менеджменту

Відправним пунктом ефективного ризик-менеджменту в управлінні транспортними процесами на підприємстві є побудова дієвої системи управління ризиком, що має включати й логічно пов'язувати і підпорядковувати всі свої етапи. Схематична ілюстрація такої системи управління ризиком була запропонована Міжнародною організацією стандартизації в стандарті ISO/IEC 31010 та зображена на рисунку 4.1.

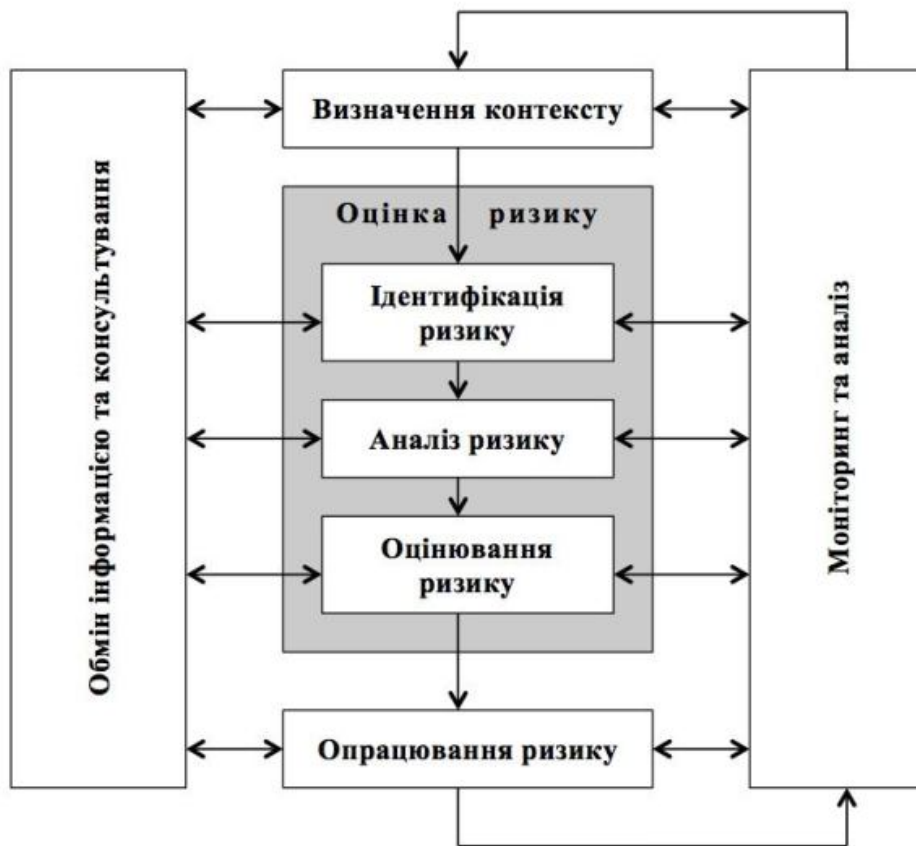


Рисунок 4.1 – Система управління ризиком

Сегмент оцінки ризику передбачає ідентифікацію, аналіз та оцінювання ризику, де крок «ідентифікація ризику» має надавати вичерпну інформацію про спектр чинників внутрішнього та зовнішнього середовищ щодо транспортних процесів. Тільки на основі підставі може бути проаналізовано та оцінено визначений ризик.

Ідентифікація ризику розпочинається з моніторингу та синтезу транспортних процесів підприємства, що дозволяє докладніше поглянути на сукупність операцій, що опосередковуються можливостями підприємства при здійсненні ним господарської діяльності.

Відокремлення джерел та факторів ризику притаманних транспортним процесам є центральним компонентом визначення ризику, оскільки з'ясування походження чинників, що визначають результативність функціонування підприємства, уможлиблюють не тільки акумулювання та використання даних стосовно поточного стану речей, а й певною мірою передбачають, які процеси на підприємстві та яким чином можуть детермінувати (пасажирські та вантажні перевезення, надання логістичних послуг тощо).

Управління як цілеспрямований вплив керівної системи проявляється у вигляді безлічі взаємопов'язаних процесів (етапів) підготовки, прийняття, організації, виконання управлінських рішень, дотримання технологічного процесу та складається з таких етапів:

1. Визначення параметрів наявної або прогнозованої ситуації, що відбуваються у транспортних процесах. Цей процес заснований на зборі та обробці даних щодо впливу наявних ризик-факторів. Інформація відіграє ключову роль у процесі управління ризиками. Своєчасне надання всієї необхідної інформації дозволяє знизити невизначеність при прийнятті рішення і, отже, запобігти помилковим рішенням. До інформації висувають наступні основні вимоги:

- повнота інформації, так як її відсутність є одним із суттєвих чинників ризику, а прийняття рішень у цих умовах служить причиною додаткових втрат;
- достовірність (або точність) інформації, для забезпечення ефективного управління вона повинна надходити з різних джерел. Найбільш правдивою інформацією стосовно ризиків є статистичні дані за минулий період щодо відповідних об'єктів;
- своєчасність (оперативність надходження) інформації тощо.

Інформаційне забезпечення процесу управління ризиком служить важливим засобом зниження його рівня, відночас підвищення повноти і точності інформації потребує додаткових витрат.

Слід враховувати фактор часу – отримання повної та достовірної інформації пов'язано зі значними його витратами, а рішення необхідно приймати в умовах обмеженості. Багато видів інформації часто є комерційною таємницею. Отримання такої інформації або неможливою, або пов'язане зі значними витратами. Тому в процесі збору та обробки інформації слід прагнути

до оптимального співвідношення між її повнотою та якістю, з одного боку, і вартістю її отримання – з іншого. Іноді економічно вигідніше працювати з неповною інформацією, ніж збирати практично повну, але дуже дорогу інформацію, що вимагає до того ж неприпустимих за витрат часу.

Для визначення економічно обґрунтованого обсягу інформації слід порівняти збитки, які були попереджені завдяки їй, з вартістю одержання додаткової інформації у допустимі для життєздатності проекту строки.

Відвернений збиток визначають як різницю між очікуваними результатами господарської діяльності в умовах, коли є додаткова інформація, і за її відсутності.

Задоволенню суперечливих вимог до інформації сприяють сучасні технології її отримання та оброблення. Для глибшого розуміння ризику використовують його візуалізацію – наочне зображення в графічному вигляді, що підкреслює важливість відповідних ризиків, які призначені для аналізу та подальшого прийняття рішень.

2. Аналіз ризику на транспорті. Інформаційною основою процесу управління ризиком є його аналіз. Основною метою аналізу є формування цілісної картини ризиків і масштабів потенційної відповідальності. У транспортній галузі подібне дослідження даних дозволить надалі правильно організувати систему управління ризиком. Унаслідок аналізу ризику складається картина можливих ризикових подій, ймовірностей їхнього настання і наслідків, визначається можливість зниження чи збільшення (у разі, коли отримані значення ризику значно нижче допустимого рівня, а його збільшення підвищить очікувану віддачу) ризику.

3. Порівняння даних аналізу з гранично допустимими рівнями небезпеки. Після порівняння отриманих значень показників ризиків із гранично припустимими (рівнями прийняттого ризику) розроблюють стратегію управління ризиком та заходи щодо його зниження.

4. Обґрунтування програми управління ризиком транспортних процесів. Цей процес включає наступні етапи: пошук варіантів зниження ризику за рахунок відповідних превентивних заходів, покриття збитків у разі його виникнення; оцінку економічної ефективності витрат на управління ризиком для кожного варіанта; порівняння варіантів і вибір оптимального.

При пошуку варіантів зниження ризику необхідно прогнозувати зміни параметрів наявної ситуації та моделювати поведінку розглянутого об'єкта. Варіанти зниження ризику спочатку відбирають з використанням принципу обґрунтування. При виборі методів управління ризиком слід враховувати їхню

різну ефективність, різний обсяг ресурсів, необхідних для їхньої реалізації в умовах невизначеності. Завдання вибору методів управління ризиком можна сформулювати як задачу оптимізації в умовах обмежень.

Відбір заходів для реалізації проводять на основі принципу оптимізації з урахуванням обмежень витрат, тобто вибирають тільки найефективніші заходи, витрати на які не перевищують виділених ресурсів. Їхня сукупність утворює раціональну програму управління ризиками, яка включає інформаційне та ресурсне забезпечення реалізованих заходів, критерії ефективності виконання і систему розподілу відповідальності за прийняті рішення.

5. Прийняття рішення про ступінь достатності запланованих заходів. Після вибору певного набору заходів приймають рішення про ступінь їхньої достатності.

6. Моніторинг результатів. Даний процес забезпечує зворотній зв'язок у системі управління ризиком, дозволяє приймати заходи по її вдосконаленню. Моніторинг проводять на основі оцінки ефективності застосовуваних заходів.

4.2 Технологія управління ризиком

Як було зазначено раніше, аналіз ризику дозволяє виявити найбільш небезпечні процеси, що можуть призвести до настання небажаних подій.

За даними американських учених найбільшу частоту нещасних випадків зі смертельним результатом (за часом доби) становить поїздка на роботу та їзда на мотоциклі, усі інші (сон, розваги тощо) значно менше. Отже, повинні розглядатися всі технічні і соціальні аспекти в їхньому взаємозв'язку. При цьому можливо забезпечити прийнятний ризик, який поєднує в собі технічні, економічні, соціальні і політичні аспекти і є деяким компромісом між рівнем безпеки і можливостями її досягнення.

Наявний досвід аналізу й управління ризиком показує, що розроблення та вдосконалення процедур і методів у цій сфері здійснюється шляхом наближення до принципів системного підходу. Дійсно, управління ризиком – це процес, що вимагає розгляду широкого кола питань, а саме: технічних, інформаційних, соціально-економічних, екологічних, політичних.

Урахування всіх факторів покладено в основу нового виду технології – «Технології управління ризиком» (далі – ТУР). У межах концептуального підходу пропонується структурна модель ТУР, яка в методичному плані наочно демонструє принцип поєднання теоретичних розробок і практичного досвіду в галузі управління технічним ризиком, екологічним ризиком і ризиком у соціально-економічних системах.

Механізм ТУР повинен базуватися на блоковій структурі у вигляді системних процедур. Така будова відображає поділ і кооперацію діяльності у цій сфері, які забезпечують можливість незалежного надання послуг, розвиток системи спеціалізованих державних або галузевих комерційних організацій.

Перший блок – інформаційно-аналітичний. Забезпечує збір, первинну обробку та аналіз інформації, її зберігання. Подає відповідним чином організований комп'ютерний банк даних і бібліотеку документів, що містять необхідні для ТУР первинні відомості про проблему.

Другий блок – дослідження. Він забезпечує безперервну підтримку ТУР за допомогою розроблення необхідних версій програмного забезпечення, методик, норм і правил, що відповідають особливостям розглянутих об'єктів, технології і параметрів транспортного процесу.

Третій блок – аналітична експертиза та прогнознi дослідження. Використовуючи продукт попереднього блоку і методи проведення експертизи, виконується «ризиковий моніторинг», здійснюється прогноз розвитку ризику і наслідків, оцінюється збиток за ризиком, формалізуються переваги, виробляються рекомендації щодо стратегії і тактики дій, засобів захисту.

Четвертий блок – управління. Побудова базового сценарію управління ризиком завершує етап аналітичної експертизи та прогнозних досліджень. Група управління повинна:

- виробити єдиний погляд на цілі, завдання і об'єкт прогнозування та управління;
- досягти єдиної думки про механізм розвитку ризику та методи управління ним;
- сформулювати поточні і перспективні плани;
- перевірити й налагодити взаємодії між службами захисту.

Після того, як отримано сценарії розвитку ризику, виконана його оцінка, прийняті рішення щодо стратегії і тактики дій, розроблені пріоритети дій спускаються вниз по рівнях управління.

Вхідні і вихідні потоки цих блоків можуть бути побудовані у вигляді розгалужених структур відповідно до розглянутої проблеми (завдання) пошуку рекомендацій за глибиною і (або) шириною. Межі встановлюються з умов можливого оптимального вирішення того чи іншого завдання (підзавдання) і (або) наявних обмежень на інформаційні дані та матеріальні ресурси.

Організаційні принципи виникають на рівні регіонів і галузей проблеми, їм властиві такі характеристики:

- своєрідність й унікальність, оскільки умови (зовнішні і внутрішні)

розвитку ризику, зазвичай, не повторюються;

- велика кількість параметрів і висока складність дозволених проблем;
- велика початкова невизначеність проблем, що знову виникають;
- безліч суперечливих критеріїв вибору адекватної альтернативи;
- складність передбачення наслідків реалізованих рішень;
- складність пошуку компромісу між соціальним середовищем і відомчими інтересами осіб, що приймають стратегічні рішення;
- дефіцит часу, відведеного для прийняття рішення.

Зважаючи на це, в основу створення ТУР можна покласти дві організаційні ознаки: територіальну й галузеву, що полегшить вимоги до інформаційно-аналітичного забезпечення та спростить наступні процедури ТУР. При відпрацюванні ТУР за ознаками можливий подальший перехід в єдину систему.

Номенклатура пропонованого продукту й послуг визначена змістом кожного блоку. Обслуговування клієнтів (замовник, споживач) може здійснюватись за схемами: мережевий комп'ютерний зв'язок клієнта з фірмою-консультантом; комп'ютерна база клієнта і оновлюванні експертні системи та версії ППП; виїзна експертно-аналітична група; безпосереднє обслуговування у фірмі; поштовий зв'язок-розсилка методик, норм, правил тощо.

4.3 Фактори та критерії, що враховуються у процесі моделювання стратегій управління ризиками в транспортних процесах

Зниження виникнення ризику надзвичайних подій (далі – НП) у транспортних процесах досягається проведенням попереджувальних організаційно-технічних заходів, або інакше кажучи – стратегіями управління.

Згідно з [35, 66, 85, 103], стратегія управління ризиком розробляється відповідно до аналізу значень ризику (далі – НП) за минулі роки й законодавчих вимог у галузі промислової безпеки та економічної політики транспортного підприємства.

У процесі моделювання стратегій управління виробничими ризиками значна частина інформації, яка використовується для оцінки та управління ризиком є нечіткою, слабо структурованою і погано формалізованою.

Тому необхідно враховувати наступні фактори:

1. Фактор неможливості точного вимірювання величини ризику НП у момент часу t на момент часу t_k .

2. Фактор невизначеності виникнення розглянутого НП у момент часу на момент часу (НП може відбутися в момент часу , а може не відбутися).

3. Фактор невизначеності технічної надійності транспортних засобів на підприємстві.

4. Фактор людської невизначеності, який пов'язаний із неможливістю точного передбачення поведінки людини, залученої у транспортному процесі.

5. Фактор політичної та економічної нестабільності в Україні.

Отже, моделювання стратегій управління ризиком і вибір оптимальної з множини допустимих стратегій буде проводитися в умовах невизначеності.

Оцінку значущості стратегій управління при виборі оптимальної стратегії з сукупності допустимих доцільно проводити, спираючись на наступні критерії:

1. Зменшення рівня ризику: оптимальної будемо вважати ту керівну стратегію, у якій результуюче зниження ризику буде більше.

2. Широта впливів: ефективніше буде вважатися та стратегія управління, яка чинить вплив на більшу кількість ризикоутворювальних причин для розглянутої НП.

3. Величина економічних витрат на проведення заходів щодо зниження в ризику: кращі стратегії управління не завжди найдорожчі.

Припустимо, що досягти зниження ризику НП – «ДТП» унаслідок порушення швидкісного режиму на підприємствах транспорту громадського користування, враховуючи наведені фактори 1–5, можна із застосуванням таких стратегій управління:

1. Застосування системи попередження про перевищення встановленої швидкості руху на рухомих одиницях міського пасажирського транспорту.

2. Моніторинг дотримання швидкісного режиму водіями транспортних засобів на найбільш небезпечних ділянках дороги.

3. Введення системи штрафів водіїв за порушення швидкісного режиму за результатами записів реєстратора.

4. Інформування водіїв про аварії з людськими жертвами, що траплялися із застосуванням фотографій, відеозаписів та інших наочних матеріалів.

5. Проведення додаткових інструктажів.

Кожна стратегія управління забезпечує різний рівень зниження ризику НП на підприємстві. Для вирішення завдання управління виробничим ризиком необхідно вибрати, як було зазначено раніше, оптимальну стратегію управління.

Вибір оптимальної стратегії управління із сукупності стратегій управління виробничими ризиками в момент часу характеризується

невизначеністю інформації. Це пов'язано з неможливістю проведення безпосереднього вимірювання величини ризику розглянутої НП, яка може статися на підприємстві в момент часу t_k ($t_k > t$; $t, t_k \in T$, де t, t_k – розглянуті моменти часу, T – множина моментів часу) після проведення заходів щодо мінімізації ризику під управлінням виробленої в момент часу t оптимальної стратегії управління u^*

Отже, для вибору оптимальної стратегії управління проведемо експертне оцінювання сукупності можливих стратегій управління, використовуючи критерії оцінки значущості 1–3, що наведені в цьому розділі.

4.4 Експертне оцінювання стратегій управління несприятливих подій в умовах невизначеності

У разі обмежених можливостей застосування точних математичних методів через відсутність достатньо точної статистичної та іншої інформації про надійні показники та технічні характеристики системи, а також надійність математичних моделей, що описують реальний стан системи, експертні оцінки є доцільним засобом вирішення завдань безпеки.

Розглянемо групове експертне оцінювання сукупності допустимих стратегій управління ризиком, використовуючи метод попарних порівнянь.

Використовуючи експертні оцінки, припускають, що у процесі вирішення проблем в умовах невизначеності думка групи експертів надійніша, ніж думка окремого експерта, тобто дві групи однаково компетентних експертів із більшою ймовірністю дадуть аналогічні відповіді, ніж два експерти.

Передбачається також, що сукупність індивідуальних відповідей експертів повинна включати «справжню» відповідь.

В експертизі беруть участь L експертів. Для вирішення більшості завдань важливо мати в групі необхідну кількість фахівців високої кваліфікації з достатнім практичним досвідом роботи.

Група не повинна бути занадто великою, інакше можуть виникнути певні труднощі у прийнятті рішення.

Для порівняння стратегій управління застосовується метод простого ранжирування [77, 89]. Експерти ознайомлені з критеріями оцінки значущості стратегій управління, які наведені вище.

Експертиза полягає у попарному порівнянні стратегій управління з присвоєнням рангів значущості. Отримані результати зводяться в таблицю, загальний вигляд якої представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Таблиця оцінок ранжирування стратегій управління

Стратегії управління	Експерти					
	1	2	3	4	...	L
1	2	3	4	5	6	7
u_1	q_{11}	q_{12}	q_{13}	q_{14}	...	q_{1L}
u_2	q_{21}	q_{22}	q_{23}	q_{24}	...	q_{2L}
...
u_m	q_{m1}	q_{m2}	q_{m3}	q_{m4}	...	q_{mL}

Таблицю 4.1 представимо у вигляді матриці:

$$\hat{Q} = \|q_{is}\|, \quad s = \overline{1, L}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (4.1)$$

де \hat{Q} – матриця рангів;

q_{is} – ранг, що присвоюється s -експертом i -ій стратегії управління;

$u_i \in U = \{u_i\}_{i=1}^m$ – безліч припустимих стратегій управління ризиками;

L – кількість експертів, що беруть участь в експертизі;

m – кількість допустимих стратегій управління.

При ранжируванні об'єктів використовується дисперсійний коефіцієнт конкордації W (коефіцієнт згоди) – міра узгодженості думок групи експертів, який визначається згідно з [77, 89, 104], у такий спосіб.

Підсумуємо значення рангів по кожному рядку матриці (4.1). Унаслідок отримаємо вектор з компонентами:

$$q_i = \sum_{s=1}^L q_{is}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (4.2)$$

Будемо розглядати величини q_i як реалізацію випадкової величини і знайдемо оцінку дисперсії. Оптимальна за критерієм мінімуму середнього квадрата помилки оцінка дисперсії, визначається за формулою:

$$D = \frac{1}{1-m} \sum_{i=1}^m (q_i - \bar{q})^2, \quad (4.3)$$

де \bar{q} – оцінка математичного очікування (середній ранг), що дорівнює:

$$\bar{q} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m q_i. \quad (4.4)$$

Дисперсійний коефіцієнт конкордації визначається як відношення оцінки дисперсії (4.3) до максимального значення цієї оцінки:

$$W = \frac{D}{D_{\max}}, \quad (4.5)$$

де D_{\max} – максимальне значення дисперсії, яке обчислюється за формулою:

$$D_{\max} = \frac{L^2(m^3 - m)}{12(m-1)}. \quad (4.6)$$

Оскільки $0 \leq D \leq D_{\max}$, коефіцієнт конкордації змінюється від нуля до одиниці.

Введемо позначення:

$$S = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{s=1}^L q_{is} - \bar{q} \right)^2. \quad (4.7)$$

У вираз (4.3) підставимо (4.7), одержимо оцінку дисперсії в такому вигляді:

$$D = \frac{1}{1-m} S. \quad (4.8)$$

Використовуючи вираз (4.5 – 4.6, 4.8), отримаємо вираз для визначення коефіцієнта конкордації у разі різних рангів значущості:

$$W = \frac{12}{L^2(m^3 - m)} S. \quad (4.9)$$

За наявності однакових рангів значущості коефіцієнт конкордації обчислюється відповідно до виразу:

$$W = \frac{12S}{L^2(m^3 - m) - L \sum_{s=1}^L T_s} \quad (4.10)$$

$$T_s = \sum_{k=1}^{H_s} (h_k^3 - h_k) \quad (4.11)$$

де T_s – показник зв'язаних рангів s-ого ранжирування;

H_s – кількість груп однакових рангів у s-му ранжируванні,

h_k – число однакових рангів у групі зв'язаних рангів при ранжируванні s-м експертом.

Як доводить досвід проведення подібних експертиз [108–109] висновки експертів вважаються узгодженими більшою мірою (експерти погоджуються в

оцінці значимості стратегій управління), якщо коефіцієнт конкордації приймає значення $0,1 \leq W < 1$. За умов інших значень коефіцієнта конкордації доцільно уточнити вихідні дані про стратегії, змінити склад експертної групи та повторно провести експертизу.

Далі проводиться узагальнення отриманих індивідуальних ранжировок експертів.

Для вирішення цього завдання доцільно використовувати метод попарних порівнянь, який проводиться в декілька етапів.

1. Кожен експерт проводить попарну оцінку пріоритетності стратегій управління і заповнює свою матрицю парних порівнянь:

$$E_s = \|I_{iks}\|, \quad (4.12)$$

де I_{iks} – елементи матриці, які залежно від вибору експерта визначаються за правилом:

$$I_{iks} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } q_{ks} \geq q_{is}; \\ 0, & \text{якщо } q_{ks} < q_{is}; \end{cases} \quad (4.13)$$

де q_{ks} та q_{is} – ранги, раніше присвоєні s -експертом i -ї та k -ї стратегії управління.

Кількість матриць попарного порівняння (4.12) дорівнює кількості експертів L в групі.

2. Визначається сума матриць всіх експертів. Підсумовування проводиться за елементами матриць за такою формулою:

$$Z_{ik} = n \sum_{s=1}^L I_{iks}, \quad ks = \overline{1, L}. \quad (4.14)$$

3. Визначається результуюча матриця, кожен елемент якої визначається за правилом:

$$SI_{iks} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Z_{is} \geq L/2; \\ 0, & \text{якщо } Z_{is} < L/2 \end{cases}; \quad ks = \overline{1, L} \quad (4.15)$$

4. Знаходиться сума балів, яку набрала кожна стратегія управління:

$$B_k = \sum_{i=1}^m SI_{iks}, \quad ks = \overline{1, L} \quad (4.16)$$

Використовуючи отримані вирази (4.1–4.16), проведемо експертне оцінювання сукупності допустимих стратегій управління виробничим ризиком в транспортній галузі і виберемо з цієї сукупності оптимальну стратегію управління.

Вирішення завдання вибору оптимальної стратегії управління в умовах невизначеності пов'язано з ускладненням однозначного визначення переваг стратегій.

У зв'язку з цим, прийнемо припущення про можливість існування підмножини оптимальних стратегій управління:

$$U^* \in U, \quad U^* = \{u_i^*\}_{i=1}^{kop}, \quad kop < ku,$$

де U^* – підмножини оптимальних стратегій управління;

u_i^* – оптимальна стратегія управління;

U – множини допустимих стратегій управління;

ku – кількість допустимих стратегій управління;

kop – кількість оптимальних стратегій управління.

Припустимо, в експертизі беруть участь п'ять експертів ($L = 5$). Проведемо операцію ранжирування стратегій управління виробничим ризиком для НСоб «Події на транспорті».

Сукупність допустимих стратегій управління містить п'ять стратегій ($m = 5$).

Експерти компетентні в питаннях щодо проведення запобіжних організаційно-технічних заходів на підприємствах транспорту громадського користування.

Вони володіють інформацією про результати аналізу впливу ризикоутворювальних причин виникнення розглянутого НСоб. Їм надано перелік сукупності допустимих стратегій управління виробничим ризиком на виробництві.

Експерти ознайомлені з критеріями оцінки значущості стратегій управління. Перед ними ставиться завдання вибору оптимальної стратегії управління із сукупності допустимих стратегій управління.

Отримані результати ранжирування стратегій управління наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оцінки ранжирування стратегій управління

№ з/п	Стратегії управління	u_i/L	Експерти				
			1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Застосування системи попередження про перевищення встановленої швидкості руху	u_1	4,5	5	4	4,5	4,5
2	Моніторинг дотримання швидкісного режиму водіями транспортних засобів на найбільш небезпечних ділянках дороги.	u_2	4,5	4	5	5	4,5
3	Введення системи штрафів для водіїв за порушення швидкісного режиму за результатами записів реєстратора.	u_3	2,5	2	2,5	3	3
4	Інформування водіїв про аварії з людськими жертвами, що траплялися з застосуванням фотографій, відеозаписів та інших наочних матеріалів.	u_4	2,5	2	2,5	2	1,5
5	Проведення додаткових інструктажів.	u_5	1	2	1	2	1,5

Проведемо обчислення і оцінку значущості коефіцієнта конкордації . Обчислимо середнє значення \bar{q}_i і значення S відповідно за формулами (4.4) і (4.7):

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\sum_{s=1}^L q_{is} \right)}{m} = \frac{\sum_{i=1}^5 \left(\sum_{s=1}^5 q_{is} \right)}{5} = 15,3;$$

$$S = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{s=1}^L q_{is} - \bar{q} \right)^2 = \sum_{i=1}^5 \left(\sum_{s=1}^5 q_{is} - 15,3 \right)^2 = 201,3$$

Оскільки, в ранжируванні є однакові ранги, коефіцієнт конкордації будемо обчислювати за формулою (4.10). Порахуємо показники зв'язаних рангів T_s за формулою (4.11):

$$T_1 = \sum_{k=1}^2 (2^3 - 2) = 12; \quad T_2 = \sum_{k=1}^1 (3^3 - 3) = 24; \quad T_3 = \sum_{k=1}^1 (2^3 - 2) = 6;$$

$$T_4 = \sum_{k=1}^1 (2^3 - 2) = 6; \quad T_5 = \sum_{k=1}^2 (2^3 - 2) = 12.$$

Визначимо коефіцієнт конкордації:

$$W = \frac{12 \cdot 201,3}{5^2(5^3 - 5) - 5 \sum_{s=1}^5 T_s} = \frac{2415,6}{25 \cdot 120 - 5 \cdot 60} = 0,895$$

Отримане значення коефіцієнта конкордації більше за 0,1, тобто виконується вимога – $0,1 \leq W < 1$. Отже, гіпотеза про згоду експертів у ранжировках приймається.

Проведемо узагальнення отриманих індивідуальних ранжировок стратегій управління експертами, використовуючи таблицю 4.2 . Побудуємо матрицю попарних порівнянь (4.12) для кожного s -го експерта. Значення елементів матриці визначимо за формулою (4.13). Для розрахунку елементів сумарної матриці всіх експертів використовуємо формулу (4.14). Результати розрахунків подано в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Матриці попарних порівнянь для кожного s -го експерта та сумарна матриця всіх експертів

s_1	4,5	4,5	2,5	2,5	1		s_2	5	4	2	2	2
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5			u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
u_1	1	1	1	1	1		u_1	1	1	1	1	1
u_2	1	1	1	1	1		u_2	0	1	1	1	1
u_3	0	0	1	1	1		u_3	0	0	1	1	1
u_4	0	0	1	1	1		u_4	0	0	1	1	1
u_5	0	0	0	0	1		u_5	0	0	1	1	1
s_3	4	5	2,5	2,5	1		s_4	4	5,5	3	2	2

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5			u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
u_1	1	0	1	1	1		u_1	1	0	1	1	1
u_2	1	1	1	1	1		u_2	1	1	1	1	1
u_3	0	0	1	1	1		u_3	0	0	1	1	1
u_4	0	0	1	1	1		u_4	0	0	0	1	1
u_5	0	0	0	0	1		u_5	0	0	0	1	1
s_5	4,5	4,5	3	1,5	1,5		Сумарна матриця усіх експертів					
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5			u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
u_1	1	1	1	1	1		u_1	5	3	5	5	5
u_2	1	1	1	1	1		u_2	4	5	5	5	5
u_3	0	0	1	1	1		u_3	0	0	5	5	5
u_4	0	0	0	1	1		u_4	0	0	3	5	5
u_5	0	0	0	1	1		u_5	0	0	1	3	5

Результуюча матриця						
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	B_k
u_1	1	1	1	1	1	5
u_2	1	1	1	1	1	5
u_3	0	0	1	1	1	3
u_4	0	0	1	1	1	3
u_5	0	0	0	1	1	2

Згідно з результуючою матрицею, оптимальними є стратегії управління виробничими ризиками – u_1^* і u_2^*

Отже, для зниження виробничого ризику несприятливого події «Події на транспорті» (а саме ДТП унаслідок порушення швидкісного режиму) на підприємстві транспортної галузі України на момент часу необхідно, насамперед, запланувати:

1. Застосування системи попередження про перевищення встановленої швидкості руху.
2. Моніторинг дотримання швидкісного режиму водіями транспортних засобів на найбільш небезпечних ділянках дороги.

4.5 Оцінка ефективності управління виробничими ризиками несприятливої події на виробництві

Для оцінки ефективності управління виробничим ризиком розглянутої НП у транспортній галузі в умовах стохастичної невизначеності введемо в розглянемо функцію відповідності необхідного та реального значень виробничого ризику:

$$p = p(Y(u), Y^{mp}), \quad (4.17)$$

де $Y(u)$ – реальне значення виробничого ризику, який є випадковою величиною і залежить від обраної стратегії управління;

Y^{mp} – необхідне значення виробничого ризику.

Мірою ступеня відповідності необхідного та реального значень, згідно з [78, 110], буде показник ефективності $W(u)$, значення якого визначається як математичне сподівання функції відповідності:

$$W(u) = M[p(Y(u), Y^{mp})] \quad (4.18)$$

Для визначення показника ефективності управління виробничим ризиком розглянемо випадкову подію, яка полягає у тому, що під управлінням оптимальної стратегії u^* значення ризику $Y(u^*)$ несприятливої події в момент часу t^k прийме необхідне значення Y^{mp} , тобто $Y(u^*) = Y^{mp}, u^* \in U$.

Функцію відповідності в таких випадках вводять як змінну Бернуллі, яка приймає значення:

$$\rho = \begin{cases} 1, & \text{якщо подія } A \text{ настала;} \\ 0, & \text{якщо подія } A \text{ не настала.} \end{cases}$$

Отже, показник ефективності управління ризиком $W(u^*)$ збігається з чисельною мірою (ймовірністю виникнення) випадкової події A :

$$W(u^*) = M[p(Y(u^*), Y^{mp})] = 1 \cdot H(A) + 0 \cdot (1 - H(A)) = H(A) = Y(u^*) = Y^{mp}. \quad (4.19)$$

Як було зазначено раніше, моделювання стратегій управління виробничими ризиками НП проводиться в умовах стохастичної невизначеності, тобто отримати реальне значення виробничого ризику в момент часу t_k , що дорівнює необхідному значенню виробничого ризику, практично неможливо. Тому доцільно значення виробничого ризику задати інтервалом допустимих значень.

Визначимо нижню межу інтервалу допустимих значень виробничого ризику, ґрунтуючись на критерії прийнятного ризику. Критерій прийнятного ризику свідчить про те, що через об'єктивні причини ризик повністю усунути не можна, його можна тільки знизити до «прийнятного» рівня.

Згідно з [36, 37, 66, 92], «прийнятний» рівень виробничого ризику вважається такий, що:

- припустимий та обґрунтований, виходячи з економічної і соціальної політики керівництва підприємства;
- підтверджений логічними, статистичними висновками і розрахунками.

Верхньою межею інтервалу допустимих значень на момент часу t_k доцільно вважати значення виробничого ризику певної НП відповідно до моменту часу t .

У цьому разі необхідне і реальне значення виробничого ризику НП у момент часу t_k , що набуде значення з інтервалу:

$$Y_{\min} \leftarrow (Y^{mp}, Y(u^*)) < H(A^t), \quad (4.20)$$

де Y^{mp} – необхідне значення виробничого ризику;

$Y(u^*)$ – реальне значення виробничого ризику НП у момент часу t_k ;
 Y_{\min} – значення «прийнятного» рівня виробничого ризику;
 $H(A^t)$ – значення ймовірності виникнення НП в момент часу t .

Враховуючи зазначене вище, наведемо функцію відповідності (4.17) у вигляді:

$$\rho = \begin{cases} 1, \text{ якщо } Y_{\min} \leftarrow (Y(u^*)) < H(A^t); \\ 0, \text{ якщо } Y(u^*) \geq H(A^t). \end{cases} \quad (4.21)$$

Показник ефективності в цьому разі буде трактуватися як ймовірність виникнення несприятливої події в момент часу t_k :

$$W(u^*) = H(A^{t_k}) \quad (4.22)$$

Він становить імовірність того, що реальний результат буде не більшим за необхідний в разі випадковості як реального, так і необхідного результатів.

Стратегія управління виробничим ризиком u^* буде вважатися оптимальною, якщо в момент часу t^k виконається умова $Y_{\min} \leftarrow H(A^{t_k}) < H(A^t)$. В іншому разі необхідно проведення коригування запобіжних організаційно-технічних заходів.

Отже, використовуючи вирази (4.21 – 4.22) і дані, отримані при обробці статистичної інформації функцію відповідності та показник ефективності для несприятливого події «Події на транспорті» будуть мати такий вигляд:

для результату «потерпілі» –

$$p^n_{\square} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } Y_{\min}^n \leftarrow H^{n,t_k}(NCob_1(u^*)) < H^{n,t}(NCob_1); \\ 0, \text{ если } H^{n,t_k}(NCob_1(u^*)) \geq H^{n,t}(NCob_1). \end{cases} \quad (4.23)$$

для результату «загиблі» –

$$p^{nc}_{\square} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } Y_{\min}^{nc} \leftarrow H^{nc,t_k}(NCob_1(u^*)) < H^{nc,t}(NCob_1); \\ 0, \text{ если } H^{nc,t_k}(NCob_1(u^*)) \geq H^{nc,t}(NCob_1). \end{cases} \quad (4.24)$$

де $H^{n,t_k}(NCob_1(u^*))$, $H^{nc,t_k}(NCob_1(u^*))$ – значення виробничого ризику несприятливої події $NCob_1$ у момент часу t_k для результатів «потерпілі» і відповідно «загиблі»;

$Y_{\min}^n, Y_{\min}^{nc}$ – значення «прийнятного» рівня виробничого ризику несприятливого події $NCob_1$ для результатів «потерпілі» і відповідно «загиблі».

Згідно з [36, 37, 77, 108], можна запропонувати такі значення «прийняттого» рівня виробничого ризику: $Y_{\min}^n = 10^{-4}$, $Y_{\min}^{nc} = 10^{-6}$.

Якщо підставити числові значення у вирази (4.23 - 4.24), отримаємо:

– для результату «потерпілі» –

$$p^n = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 10^{-4} \leftarrow H^{n,tk}(NCob_1(u^*)) < 0,19402; \\ 0, & \text{если } H^{n,tk}(NCob_1(u^*)) \geq 0,19402 \end{cases} \quad (4.25)$$

– для результату «загиблі» –

$$p^{nc} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 10^{-6} \leftarrow H^{nc,tk}(NCob_1(u^*)) < 0,43415; \\ 0, & \text{если } H^{nc,tk}(NCob_1(u^*)) \geq 0,43415 \end{cases} \quad (4.26)$$

Значення показника ефективності згідно з (4.22) дорівнюватимуть для випадків:

$$\text{– «потерпілі» – } W^n(u^*) = H^{n,tk}(NCob_1(u^*)), \quad (4.27)$$

$$\text{– «загиблі» – } W^{nc}(u^*) = H^{nc,tk}(NCob_1(u^*)). \quad (4.28)$$

Якщо отримані значення показника ефективності (4.27–4.28) у момент часу t_k будуть приймати відповідно значення з інтервалу (4.25–4.26), розроблені в момент часу t попереджувальні організаційно-технічні заходи є оптимальними, в іншому разі необхідне їхнє коригування для подальшого зниження виробничого ризику розглянутого несприятливої події.

4.6 Методика вибору оптимальної стратегії управління ризиками виробничого травматизму на підприємствах транспорту громадського користування з метою їхньої мінімізації

Метою цієї Методики вибору оптимальної стратегії управління ризиками виробничого травматизму є розроблення оптимальних стратегій управління виробничими ризиками з метою їхньої мінімізації (рис. 4.1).

Методика включає в себе декілька етапів:

- аналіз та систематизацію статистичних даних випадків виробничого травматизму,
- оцінку впливу ризикоутворювальними причин виникнення несприятливих подій на виробництві;

– розроблення оптимальної стратегії управління виробничими ризиками з метою мінімізації максимального значення виробничого ризику.

Для спрощення математичного апарату, використаного під час проведення експертного оцінювання, можна використовувати, наприклад, комп'ютерну програму Optis, з допомогою програмного продукту Borland Delphi 7.

Перевагами цього методу програмування є:

- можливість створювати найрізноманітніші програми: від найпростіших одновіконних додатків до програм управління розподіленими базами;
- можливість працювати в середовищі операційних систем Windows;
- можливість розроблення нових компонентів та інструментів власними засобами Delphi;
- висока продуктивність розробленого додатка;
- низькі вимоги розробленого додатка до ресурсів комп'ютера;
- швидкість розроблення програми.

Програма Optis дає змогу під час проведення експертизи оператору вводити в екранну форму програми прізвища експертів, які беруть участь у проведенні експертизи, запропоновані ними стратегії управління, і відповідні оцінки кожної стратегії.

Ця програма автоматично проводить розрахунок коефіцієнта узгодженості, проміжні розрахунки (матриці попарного порівняння, результуючі й сумарні матриці), і виводить на екран стратегії управління в такій послідовності: від більш до менш пріоритетних.

Отже, наведені вище алгоритми управління ризиком у транспортних процесах дають можливість не тільки отримувати інформацію щодо можливих ризиків, а і розробляти ефективні заходи щодо їхнього зменшення.

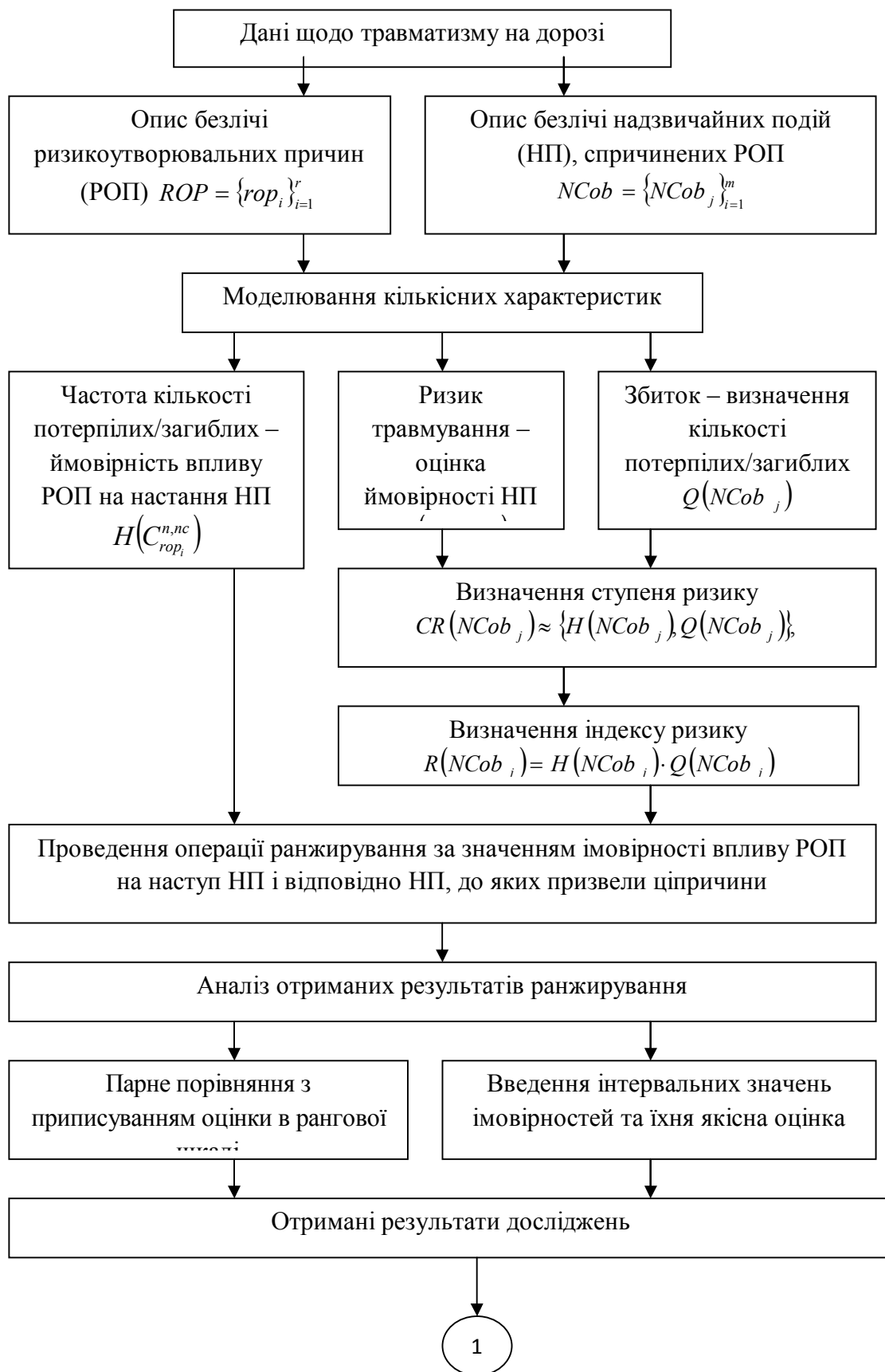
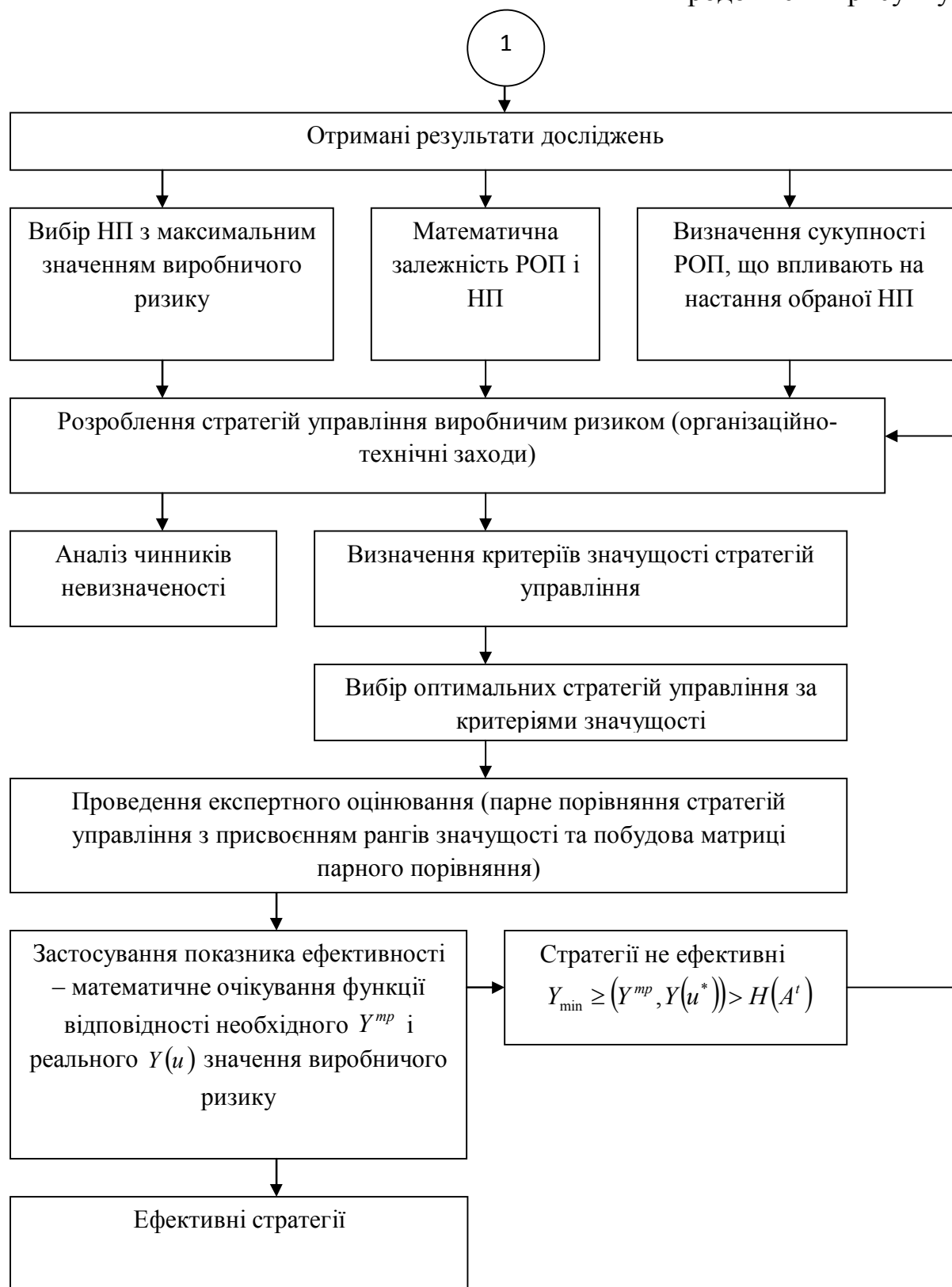


Рисунок 4.2 – Структурна схема узагальненої методики оцінки ризику НСоб на підприємствах транспорту громадського користування



Контрольні питання

1. З яких елементів складається система управління ризиком?
2. Мета та задачі системи управління ризиком.
3. З яких основних етапів складається процес управління ризиком?
4. Особливості структурної моделі «Технологія управління ризиком»?
5. З яких блоків складається «Технологія управління ризиком» ?
6. Назвіть основні фактори та критерії, що враховуються у процесі моделювання стратегій управління ризиками в транспортних процесах ?
7. З яких стадій складається моделювання ризиків ДТП?
8. У чому полягає експертне оцінювання стратегій управління ризиком?
9. Що таке коефіцієнт конкордації?
10. Як можна оцінити ефективності управління виробничими ризиками несприятливої події на виробництві?

ВИСНОВКИ

У посібнику описано особливості управління ризиками в сучасних транспортних процесах, які потребують розроблення механізму отримання обґрунтованих оцінок та критеріїв безпеки на транспорті з урахуванням усієї сукупності соціально-економічних факторів, зокрема імовірності та наслідків можливих аварій.

Головна вимога до результатів оцінки ризику пов'язана з необхідністю надання об'єктивної інформації щодо виявлення та дослідження найбільш небезпечних аварійних ситуацій, а також рекомендацій стосовно запобігання та зменшення небезпек для людей, матеріальних об'єктів та навколишнього середовища.

Аналіз ризику є частиною системного підходу до прийняття політичних рішень, процедур та практичних заходів у вирішенні питань попередження та зменшення небезпеки виробничих аварій та життя людини, захворювань або травм, збитків майна та навколишнього середовища.

У посібнику розкрито питання вимог нормативно-правових документів до визначення ризиків, методи аналізу ризику на транспорті, наведено приклади застосування комплексних підходів до визначення ризику виникнення надзвичайних подій на транспорті, описано дискретні та неперервні моделі оцінки ризику, алгоритми моделювання і прогнозування небезпечних ситуацій на дорозі та критерії управління ризиком в транспортних процесах.

Наведено обґрунтування і практичне вирішення завдань, що полягають у розкритті особливостей ризику в транспортних процесах, при збігу в просторі й часі незалежних помилок двох різних людей (наприклад, порушення швидкісного режиму водієм транспортного засобу й не усунення дефекту дорожнього покриття дорожнім працівником).

Описано аналітичні залежності ризику виникнення випадків травматизму пішоходів та інших учасників дорожнього руху від частоти та тривалості появи їх у «небезпечній» зоні, а також від частоти виникнення і тривалості існування загрози для їхнього життя.

Отже, ідентифікація, аналіз, управління ризиком у транспортних процесах дає можливість проводити аналіз наявних та імовірних загроз на всіх стадіях транспортних процесів, розробляти заходи щодо їхнього зниження та попередження, а також оцінювати їхню ефективність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Oxford English Dictionary. – М. : Oxford University, 2010. – 920 с.
2. New Webster Dictionary and thesaurus. – New York, Lexicon Pub, 1993. – 1220 с.
3. Желібо Є. П. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти України I–IV рівнів акредитації / Є. П. Желібо, В. М. Пічі. – Львів: «Новий Світ–2000», 2001. – 320 с.
4. Хенли Д. Надежность технических систем и оценка риска : пер. с англ./ Д. Хенли, Х. Кумамото. – М. : Машиностроение, 1984. – 523 с.
5. Хохлов Н. В. Управление риском : учебное пособие для вузов / Н. В. Хохлов. – М. : ЮНИТИ – ДАНА, 2001. – 239 с.
6. Ожегов С. И. Толковый словарь русского языка : 80 000 слов и фразеологических выражений / С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова. – Российская академия наук. Институт русского языка им. В. В. Виноградова. – [4-е изд., доп.]. – М. : Азбуковник, 1999. – 944 с.
7. Маршал В. Основные опасности химических производств : пер. с англ./ В. Маршал. – М. : Мир, 1989. – 672 с.
8. Ветошкин А. Г. Безопасность жизнедеятельности : Оценка производственной безопасности : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин, Г. П. Разживина. – Пенза : Изд-во Пенз. госуд. ар-хит.-строит. академии, 2002. – 172 с.
9. Муртонен М. Оценка рисков на рабочем месте : практ. пособие / Мерви Муртонен. – М., Субрегиональное бюро Международной организации труда для стран Восточной Европы и Центральной Азии, 2007. – 64 с.
10. Менеджмент риска. Термины и определения : ГОСТ Р 51897–2002. – [Действительный от 2003-01-01]. – М. : Госстандарт России, 2003. – 15 с.
11. Калькис В. Основные направления оценки рисков рабочей среды. Охрана труда / В. Калькис, И. Кристиныш, Ж. Роя. – Рига : SIA «Jelgavas tipogrāfija», 2005. – 72 с.

12. Ковалев А. П. О проблемах оценки безопасности технологических объектов топливно-энергетического комплекса Украины // Наукові праці Донецького національного технічного університету – Серія : «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – вип. 79 – с. 111-118.

13. Ковалев Е. Е. Новая техника и проблема безопасности человека / Е. Е. Ковалев, В. И. Иванов, Б. Я. Пахомов // Вопросы философии – вып. 5, 1976.– С. 49–59.

14. Государев В. М. Управление экономическими рисками в международных транспортных коридорах : дис. ...канд. экон. наук : 08.00.05 / Государев Виктор Михайлович. – Н. Новгород, 2005. – 190 с.

15. Маханець Л. Л. Моделювання ризику в зовнішньоекономічній діяльності : дис. ... канд. экон. наук : 08.03.02 / Маханець Любовь Леонідівна. – Київ, 2002. – 204 с.

16. Коромыслов А. А. Управление рисками в логистических процессах грузовых перевозок воздушным транспортом : дис... канд. экон. наук : 08.00.05/ Коромыслов Александр Анатольевич. – Саратов, 2005. – 197 с.

17. Пуликовский К. Б. Повышение безопасности транспортировки нефти на основе управления риском : дис...канд. техн. наук: 05.26.03 / Пуликовский Константин Борисович. – Уфа, 2007. – 130 с.

18. Слюсарь Н. Н. Управление экологическими рисками транспортировки взрывчатых веществ железнодорожным транспортом : дис... канд. техн. наук : 03.00.16 / Слюсарь Наталья Николаевна. – Пермь, 2004. – 149 с.

19. Петров С. В. Совершенствование методов оценки и управления аварийным риском в чрезвычайных ситуациях при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте : дис... канд. техн. наук : 05.26.02 / Петров Сергей Викторович. – Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. – М., 2009. – 142 с.

20. Троицкая Н. А. Транспортно-технологические схемы перевозок отдельных видов грузов : учебное пособие / Н. А. Троицкая, М. В. Шилимов. – М. : КРОНУС, 2010. – 232 с.

21. Гинзбург А. З. Международные автомобильные перевозки грузов: практическое пособие. Серия : Информация для потребителей транспортных услуг. – Вып. 2. – Издание второе, дополненное / А. З. Гинзбург. – СПб. : Информационный центр «ВЫБОР», 2000. – 277 с.

22. Коноваленко Ю. Джерела та фактори транспортного ризику при здійсненні вантажних перевезень автомобільним транспортом / Ю. Коноваленко // Галицький економічний вісник. – 2013. – №2 (41). – С. 10–20. – (економіка та управління національним господарством).

23. Лук'янова В. В. Економічний ризик : навч. посібник / В. В. Лук'янова, Т. В. Головач. – Київ : Академвидав, 2007. – 464 с.

24. Hajnalka Madai. Risk Sources and Risk Management Strategies Applied by the Hungarian Sheep Producers /Hajnalka Madai // Fascicula : Ecotoxicologie, Zootehnie si Tehnologii de Industrie Alimentara. – 2008. – Vol. 7. – No 7. – PP. 298–307.

25. Рачинська А. В. Класифікація ризиків на залізничному транспорті як основа формування системи економічної безпеки його функціонування / А. В. Рачинська // Економіка і суспільство. – 2016. – № 6. – С. 81–87.

26. Сич Є. М. Стратегія розвитку залізничного транспорту України / Є. М. Сич, Н. І. Богомолова. // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. – Серія «Економіка і управління». – 2005. – Вип. 7. – С. 98–105.

27. Бондарь В. А. Риск, надежность и безопасность. Система понятий и обозначений. Безопасность труда в промышленности / В. А. Бондарь, Ю. П. Попов. – Вып. 10. – 1997.– С. 39–42.

28. MacKay G. M. Some features of road trauma in developing countries / G. M. MacKay. // In : Proceedings of the International Association for Accident and Traffic Medicine Conference (Mexico, DP, September 1983). – Stockholm, 1983. – P. 21–25.

29. Odero W., Gamer P., Zwi A. Road traffic injuries in developing countries: a comprehensive review of epidemiological studies / W. Odero, P. Gamer, A. Zwi //Tropical Medicine and Int. Health. – 1997, vol. 2. – P. 445–460.

30. McLean J., Kloeden C. Alcohol, traveling speed and the risk of crash involvement/ J. McLean, C. Kloeden // In: Proceedings of the 16th International Conference on Alcohol, Drugs and Traffic Safety (Montreal, 4–9 August, 2002). – Montreal, 2002. – P. 73–79.
31. Andersson G., Nilsson G. Speed management in Sweden / G. Andersson, G. Nilsson // Linköping, Swedish National Road and Transport Research Institute. – 1997. – P. 86–89.
32. Finch D. J. Speed, speed limits and accidents. / D. J. Finch // Crowthorne, Transport Research Laboratory. – 1994. – P. 98–115.
33. Эльвик Р. Справочник по безопасности дорожного движения. Обзор мероприятий по безопасности дорожного движения / Р. Эльвик, А. Боргер, Э. Эствик, Т. Ваа ; пер. с норв. / под редакцией проф. В. В. Сильянова. – М. : МАДИ (ГТУ), 2001. – 754 с.
34. Коромыслов А. А. Управление рисками в логистических процессах грузовых перевозок воздушным транспортом : дис... канд. экон. наук: 08.00.05 / Коромыслов Александр Анатольевич. – Саратов, 2005. – 197 с.
35. Risk Management – Risk Assessment Techniques: ISO/IEC 31010:2009. – [Valid from 2009-12-01]. – Geneva : International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission, 2009. – 176 p.
36. Європейське агентство охорони здоров'я та праці. Управління ризиками для водіїв автомобільного транспорту, Люксембург, 2011.
37. Хаккер А. С. Використання впливів і ризиків у дослідженнях з безпеки дорожнього руху / А. С. Хаккер, Л. Браймастер // Інститут SWOV з дослідження безпеки дорожнього руху. – Нідерланди, Лейдсендам, 2001.
38. Волков И. М. Проектный анализ. / И. М. Волков, М. В. Грачева. – М. : Банки и Биржи, Юнити, 1998. – 423 с.
39. Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение / О. Моргенштерн, Дж. фон Нейман. – М. : Книга по Требованию, 2012. – 708 с.

40. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. / Е. С. Венцель. – М. : Высш.шк., 1999.– 576 с.
41. Corporate Metrics Technical Document / RiskMetrics Group. April 1999.
32. Anindia Bhattacharyya, Market data moves into the middle office // Risk Professional, 1/8 November,1999.
42. Geoff Kates. Risk management systems 2000 / К. Geoff. // Risk Professional, № 2/1 February 2000. London Informa Group, 2000. – P.19-31.
43. Roland Kenett. Towards a grand unified theory of risk / К. Roland. // Operational Risk, London, Infroma Business Publishing 2000. – P. 61–69.
44. Бегун В. В. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ) / [В. В. Бегун, О. В. Горбунов, И. Н. Каденко и др.]. – Київ : НТУУ «КПИ», 2000. – 568 с.
45. Водяник А. О. Методологічні основи врахування фактора ризику в профілактиці виробничого травматизму : автореф. дис... док. техн. наук : 05.26.01 / Анатолій Омелянович Водяник. – К., Національний науко-дослідний інститут промислової безпеки та охорони здоров'я, 2008. – 36 с.
46. Звягінцева Г. В. Обґрунтування методів оцінки та прогнозування ризику впливів шкідливих речовин при забрудненні атмосфери промислових міст: автореф. дис... канд. техн. наук: 21.06.01 / Ганна Вікторівна Звягінцева. – Донецький національний університет, 2006. – 31 с.
47. Гунченко О. М. Удосконалення системи управління охороною праці на машинобудівельних підприємствах: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.26.01 / Оксана Миколаївна Гунченко. – Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, 2007. – 19 с.
48. Кружилко О. Є. Наукові засади управління охороною праці : автореф. дис... док. техн. наук: 05.26.01 / Олег Євгенович Кружилко. – ДУ «ННДІ промислової безпеки та охорони праці» – Київ, 2011. – 36 с.

49. Кривенко О. Б. Прогнозирование и оценка риска : учеб. пособие / О. Б. Кривенко, Г. В. Мигаль, В. В. Гайдукова. – Харьков : НАУ «ХАИ», 2003. – 44 с.

50. Баскаков В. П. Методика снижения риска травм и аварий на угольных шахтах путем стандартизации производственного процесса : автореф. дис... канд. техн. наук : 05.26.01 / Владимир Петрович Баскаков ; Национальный научный центр горного производства – Институт горного дела им. А. А. Скорочинского. – М., 2009. – 19 с.

51. Александровская Л. Н. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем : учебник / [Л. Н. Александровская, И. З. Аронов, А. И. Елизаров и др.]; под ред. В. П. Соколова. – М : Логос, 2001. – 232 с.

52. Ковалев П. Ф. О критериях оценки эффективности мер и средств обеспечения безопасности применения электрооборудования в шахтах / П. Ф. Ковалев, В. П. Коптиков, А. П. Ковалев // Безопасность труда в промышленности. – 1972. – № 8. – С.34-36.

53. Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки : НПАОП 0.00-6.21-02 – [Чинний від 2002-07-11]. – Київ : Основа, 2003. – 16 с.

54. Об основах, содействующих безопасности и гигиене труда : Конвенция МОТ № 187. – [Действующий от 2006-06-15]. – Женева, Административный совет Международного бюро труда, 2006.

55. Об основах, содействующих безопасности и гигиене труда : Рекомендации МОТ № 197. – [Действующий от 2006-06-15]. – Женева, Административный совет Международного бюро труда, 2006.

56. Occupational health and safety management systems : OHSAS18001:2007. – [Requirements 2007-07-31]. – OHSAS Project Group. – 18 с.

57. «Guidance on risk assessment at work»: Directive 89/391/EEC. – Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities, 1996–2000.

58. «Руководство по системам управления охраной труда» : МОТ ILO – OSH – 2001. – Женева : Международное бюро труда, 2003. – 32 с.

59. Risk management – Vocabulary : ISO Guide 73 : 2009. – [2009-11-13]. – International Organization for Standardization, 2009. – 15p. (Риск – менеджмент – Словарь).

60. Risk management – Principles and guidelines: ISO 31000 : 2009 – [2009-11-13]. – International Organization for Standardization, 2009. – 24p. (Риск – менеджмент – Принципы и рекомендации).

61. Risk management – Risk assessment techniques : IES ISO 31010: 2009. – [2009 –12 – 01]. – International Organization for Standardization, 2009. – 176 p. (Риск – менеджмент – Методы оценки риска).

62. Ковалев П. Ф. Обеспечение взрывобезопасности электрооборудования в шахтах / П. Ф. Ковалев // Безопасность труда в промышленности. – 1965.– Вып. 10.– С. 47–50.

63. Ковалев А. П. Основы теории и методы оценки безопасности применения электрической энергии в угольных шахтах: автореф. дис... докт. техн. наук : 05.26.01 / Александр Петрович Ковалев ; Национальный научный центр горного производства – Донецьк, 1992. – 36 с.

64. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов : РД 03-418-01. – [Действующие от 2001-10-01.] – М. : Госгортехнадзор России, 2001. –17 с.

65. Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов : РД 08-120-96. – [Действующие от 1996-07-12]. – М. : Госгортехнадзор России, 1996. – 14 с.

66. Управление надежностью : ГОСТ Р 51901 –2002. – [Действующие от 2003-09-01]. – М. : Государственный стандарт Российской Федерации, 2002. – 24 с. (Анализ риска технологических систем).

67. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки : Р 2.2.1766 -03. – [Действующие от 2003-06-24]. – М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2004. – 16 с.

68. «Менеджмент риска. Термины и определения» : ГОСТ Р 518978 –2002 – [Действующие от 2003-01-01]. – М. : Госстандарт России, 2002.– 18 с.
69. Рябушенко О. В. Аналіз методів оцінки ризиків дорожньо-транспортних пригод / О. В. Рябушенко // Харків : НТУ «ХПІ». – 2013. Вип. № 38(1011). – С. 21–27.
70. Сотникова, А. А. Риск возникновения дорожно-транспортных / А. А. Сотникова, М. В. Сотников // Режим доступа: <http://www.csalternativa.ru/text/2177>.
71. Горбатова И. И. Оценка рисков при производстве транспортно-логистических услуг / И. И. Горбатова // [«Логистика: Современные тенденции развития» Материалы V Международной научно-практической конференции]. – Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет, 2006 – С. 114–117.
72. Ілляшенко С. М. Економічний ризик: навчальний посібник / С. М. Ілляшенко // [2-ге вид., доп. перероб.]. – Київ : Центр навчальної літератури, 2004. – 220 с.
73. Ковалев А. П. О проблемах оценки безопасности электротехнических объектов / А. П. Ковалев // Электричество. – 1991. Вып. 8 – С. 50–55.
74. Рябушенко О. В. Напрями моделювання соціальних ризиків дорожньо-транспортних пригод / О. В. Рябушенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4/4 (64). – С. 64–67.
75. Деякі питання розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві : Постанова КМУ № 1232. – [Чинний від 2011-11-30] – Київ : Основа, 2011. –21 с.
76. Ткаченко І. О. Оцінка ризику та попередження випадків виробничого травматизму на підприємствах транспорту загального користування : автореф. дис...канд. техн. наук : 05.26.01 / Ірина Олександрівна Ткаченко. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». – Донецьк, 2013. – 22 с.

77. Гражданкин А. И. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов / А. И. Гражданкин, П. Г. Белов. // Безопасность труда в промышленности. – 2000. – Вып. № 11. – С. 6–11.

78. Гражданкин А. И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А. И. Гражданкин, М. В. Лисанов, А. С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – Вып. № 5. – С. 33–36.

79. Гражданкин А. И. Основные показатели риска аварий в терминах теории вероятности / [А. И. Гражданкин, Д. В. Дегтярев, М. В. Лисанов, А. С. Печеркин] // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – Вып. № 5. – С. 8–12.

80. Богоявленский С. Б. Управление риском в социально-экономических системах: учебное пособие / С. Б. Богоявленский. – СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 144 с.

81. Бартон Т. Риск – менеджмент. Практика ведущих компаний / Т. Бартон, У. Шенкир, П. Уокер. – М. : Вильямс, 2008. – 208 с.

82. Малашина Н. Н Риск – менеджмент: учеб. пособие / Н. Малашина, О. С. Белокрылова. – М. : Феникс. 2004. – 320 с.

83. Надежность и эффективность в технике : справочник в 10 т. / Ред. совет : В. С. Авдуевский и др. – М. : Машиностроение, 1986. Т.1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А. И. Рембезы. – 224 с. : ил; Т. 3: Эффективность технических систем / под ред. В. У. Торбина. – 328 с.: ил.

84. Венцель Е. С. Теория вероятности : учебное пособие для ВУЗов / Е. С. Венцель. – М. : Высшая школа, 2001. – 575 с.

85. Костерев В. В. Надежность технических систем и управление риском: учебное пособие / В. В. Костерев. – М. : МИФИ, 2008 – 280 с.

86. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад. – М. : Радио и связь, 1990. – 288 с.

87. Сандлер Дж. Техника надежности систем / Дж. Сандлер. – М. : Наука, 1966. – 300 с.

88. Анфилатов А. А. Системный анализ в управлении: учеб. пособие / А. А. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин. – М. : ФиС, 2007. – 368 с.
89. Новосельцев В. И. Теоретические основы системного анализа / [В. И. Новосельцев, Б. В. Тарасов, В. К. Голиков и др.]. – М. : Майор, 2006. – 125 с.
90. Вишняков Я. Д. Общая теория рисков: учебное пособие для студентов ВУЗов / Я. Д. Вишневский, Н. Н. Радаев. – [2-е изд., испр.] – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
91. Афанасьев В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. – М. : Финансы и статистика, 2001.
92. Гнеденко Б. В. Элементарное введение в теорию вероятностей / Б. В. Гнеденко, А. Я. Хинчин. – М. : Наука, 1970. – 169 с.
93. Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей : монография / А. Н. Колмогоров. – М. : Наука, 1974. – 121 с.
94. Чернова Н. И. Теория вероятности и математическая статистика: курс лекций / Н. И. Чернова. – Новосибирск: НГУ, 2006. – 139 с.
95. Шоломицкий А. Г. Теория риска. Выбор при неопределенности и моделировании риска : учебное пособие для студентов вузов / А. Г. Шоломицкий. – М. : Высшая школа экономики, 2005. – 380 с.
96. Чернова Г. В. Управление рисками : учеб. пособие / Г. В. Чернова, А. А. Кудрявцев. – М. : ТК Велби, Изд-во Проспект, 2003. – 160 с.
97. Акимов В. А. Надежность технических систем и техногенные риски / В. А. Акимов, В. Л. Лапин и др. – М. : ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 – 368 с.
98. Евстафьев И. Б. К вопросу оценки фонового риска / И. Б. Евстафьева, С. Г. Григорьев // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1993. – Вып. 3. – С. 2–15.
99. Экологический риск : учебное пособие для ВУЗов / [Б. И. Сынзыныс, Е. Н. Тянтова, О. П. Мелехова]; под ред. Г. В. Козьмина. – М. : Логос, 2005. – 167 с.

100. Акимов В. А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М. : ФИД «Деловой экспресс», 2004. – 354 с.
101. Акимов В. А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В. А. Акимов, В. Д. Новиков, Н. Н. Радаев – М. : ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2001. – 344 с.
102. Блинкин В. Л. Методы анализа экзогенных составляющих рисков / В. Л. Блинкин // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М., 1997. – Вып. 3. – С. 18–36.
103. Браун Д. Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности: (системный подход в технике безопасности) / Д. Браун; пер. с англ. А. Н. Жовинского. – М. : Машиностроение, 1979. – 360 с.
104. Ветошкин А. Г. Техногенный риск и безопасность : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – 171 с.
105. Балабанов И. Т. Риск-менеджмент / И. Т. Балабанов. – М., Финансы и статистика, 1996. – 192 с.
106. Броди С. Н. Расчет и планирование испытаний систем на надежность / С. Н. Броди, О. Н. Власенко, Б. Г. Марченко. – Киев : Наукова думка, 1970. – 192 с.
107. Королюк В. С. Время пребывания полумарковского процесса в фиксированном множестве состояний / В. С. Королюк. – УМЖ. – 1965. – №3. – С. 123–129.
108. Гнеденко Б. В. Элементарное введение в теорию вероятностей. Главная редакция физико-математической литературы / Б. В. Гнеденко, А. Я. Хинчин. – М. : Наука, 1970. – 167 с.
109. Кемени Дж. Конечные цепи Маркова / Дж. Кемени, Дж. Снелл. – М. : Наука, 1970. – 271 с.
110. Сандлер Дж. Техника надежности систем / Дж. Сандлер. – М. : Наука, 1966. – 300 с.
111. Дуб Дж. Вероятностные процессы / Дж. Дуб. – М. : Наука, 1965. – 250 с.

112. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Наука, 1986. – 554 с.
113. Охрана труда : учебное пособие для специалистов и руководителей служб охраны труда организаций / [Г. З. Файнбург, А. Д. Овсянкин, В. Н. Потемкин]; под ред. В. И. Файнбург. – [8-е изд., перераб. и доп.]. – Владивосток : ФГОУ ВПО ПИГМУ, 2007. – 449 с.
114. Бешелев С. Д. Экспертные оценки / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Наука, 1973. – 160 с.
115. Орлов А. И. Экспертные оценки : учеб. пособие / А. И. Орлов. – М. : ИВСТЭ, 2002 – 31 с.
116. Саати Т. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М. : «Радио и связь», 1993. – 310 с.
117. Пармендер Д. Ключевые показатели эффективности. Разработка, внедрение и применение решающих показателей / Д. Пармендер. – New Jersey, USA : John Wiley & Sons, inc., 2007. – 233 с.

Навчальне видання

ТКАЧЕНКО Ірина Олександрівна

РИЗИКИ У ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСАХ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Відповідальний за випуск *О. М. Ярмач*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерний набір *І. О. Ткаченко*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарової*

Дизайн обкладинки *Т. А. Лазуренко*

Підп. до друку 10.04.2017 р.

Друк на ризографі

Тираж 50 пр.

Формат 60х84/16

Ум. друк. арк. 8,2

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017 р.